

Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av
Västlänken och Olskroken planskildhet
Göteborgs Stad, Mölndals stad, Västra Götalands län

PM Hydrogeologi
TRV 2016/3151

2016-02-10



DOKUMENTTITEL: Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och Olskroken planskildhet, PM Hydrogeologi

FÖRFATTARE: Ulf Sundkvist, Ecogite Mark & Bygg och Thomas Wallroth, Bergab

DOKUMENTDATUM: 2016-02-10

ÄRENDENUMMER: TRV 2016/3151

PROJEKTCHEF: Bo Larsson

UPPDRAGSANSVARIG: Kerstin Larsson, EnviroPlanning

FOTON: Trafikverket

KARTOR: ©Lantmäteriet, Geodatasamverkan

DISTRIBUTÖR: Trafikverket, Kruthusgatan 17, 405 33 GÖTEBORG, telefon 0771-921 921, www.trafikverket.se

Innehåll

1.	Inledning.....	6	2.7.2	Lokalisering av trägrund och kulturlager över grundvattenyta.....	39
1.1	Projekt Västlänken - kort översikt.....	6	2.7.3	Lokalisering av randzoner.....	39
1.2	Planerad anläggning.....	6	2.7.4	Analys av tidigare och pågående grundvattenpåverkan.....	40
1.3	Västlänkens vattenverksamhet (grundvatten).....	8	2.8	Beräkningar och prognoser.....	40
1.4	Strategi.....	11	2.8.1	Inläckage.....	40
1.5	Läsanvisning.....	11	2.8.2	Influensområde.....	41
1.6	Terminologi, begrepp och definitioner.....	12	2.8.3	Beräkning av grundvattennivåsänkning.....	42
1.7	Underlagsdokument.....	13	2.8.4	Bedömt behov av skyddsåtgärder.....	42
2.	Utredningsmetodik.....	14	3.	Översiktlig beskrivning av utredningsområdet.....	43
2.1	Allmänt.....	14	3.1	Topografi och bebyggelse.....	43
2.2	Områdesindelning.....	15	3.2	Berggrund och tektonik.....	45
2.3	Genomförda utredningar.....	17	3.3	Jordlager.....	48
2.3.1	Arkivsökning av geoinformation.....	17	3.3.1	Fyllning.....	48
2.3.2	Inventering av befintliga berganläggningar.....	19	3.3.2	Lera.....	48
2.3.3	Geologiska och geotekniska undersökningar.....	19	3.3.3	Friktionsjord.....	49
2.3.4	Hydrauliska undersökningar.....	21	3.4	Sättningar i lera.....	50
2.3.5	Hydrauliska försök.....	25	3.4.1	Pågående sättningar.....	52
2.3.6	Vattenprovtagning och analys.....	25	3.4.2	Prognosticerad sättning från trycksänkning i undre grundvattenmagasin.....	52
2.3.7	Hydrogeologisk fältkartering.....	27	3.5	Avrinning.....	54
2.4	Konceptuella modeller.....	27	3.6	Berggrundens grundvattenförhållanden.....	54
2.4.1	Iterativ modellupbyggnad.....	27	3.6.1	Berggrundens vattenförande förmåga.....	54
2.4.2	Hydromodell.....	27	3.6.2	Grundvattennivåer i berggrund.....	58
2.4.3	Hydrogeologisk konceptualisering.....	30	3.6.3	Grundvattenbildning i berggrund.....	58
2.4.4	Grundvattenbalans.....	32	3.7	Jordlagrens grundvattenförhållanden.....	59
2.5	Nuläge.....	33	3.7.1	Förekomst av grundvattenmagasin i jord.....	59
2.5.1	Beskrivning av jordlager.....	33	3.7.2	Jordlagrens vattenförande förmåga.....	59
2.5.2	Beskrivning av berggrund och svaghetszoner.....	33	3.7.3	Grundvattennivåer i jordlager.....	61
2.6	Identifiering av riskobjekt.....	35	3.8	Hydrogeologiska kartor.....	62
2.6.1	Syfte och metodik.....	35	4.	Huvudområde Nord.....	63
2.6.2	Grundvattenberoende grundläggning.....	35	4.1	Avgränsning.....	65
2.6.3	Grundvattenberoende energianläggningar och brunnar.....	36	4.2	Topografi och ytavrinning.....	65
2.6.4	Grundvattenberoende naturvärden.....	37	4.3	Berggrund.....	67
2.6.5	Förorenade områden.....	37	4.4	Jordlager.....	68
2.6.6	Grundvattenberoende fornlämningar.....	38	4.5	Grundvattenförhållanden.....	68
2.7	Analys.....	38	4.5.1	Grundvatten i jord.....	68
2.7.1	Lokalisering av sättningsbenägna lerområden.....	39			

4.5.2	Grundvatten i berg.....	70	6.6.1	Dränerande byggnader och anläggningar.....	133
4.6	Påverkade grundvattenförhållanden.....	70	6.7	Delområde 3.1 Korsvägen.....	135
4.6.1	Dränerande byggnader och anläggningar.....	70	6.7.1	Grundvattenmagasin 3:1a Heden och 3:1b Mölndalsåns dalgång/Korsvägen.....	140
4.7	Delområde 1.1 Olskroken - Lunden.....	72	6.8	Delområde 3.2 Örgryte - Skår.....	144
4.7.1	Grundvattenmagasin 1:1a Olskroken.....	74	6.8.1	Grundvattenmagasin 3:2a Bö och 3:2b Skår.....	147
4.8	Delområde 1.2 Ullevi - Gullbergsvass.....	76	6.9	Delområde 3.3 Almedal.....	149
4.8.1	Grundvattenmagasin 1:2a Ullevi - Gullbergsvass.....	78	6.9.1	Grundvattenmagasin 3:3a Mölndalsåns dalgång/Almedal och 3:3b Kallebäck.....	152
5.	Huvudområde Väst.....	84	7.	Påverkan.....	155
5.1	Avgränsning.....	84	7.1	Allmänt.....	155
5.2	Topografi och ytavrinning.....	86	7.2	Inläckage av grundvatten till Västlänken efter anläggningsskede.....	155
5.3	Berggrund.....	88	7.3	Grundvattennivåsänkning längs Västlänken.....	157
5.4	Jordlager.....	89	7.3.1	Grundvattennivåsänkningar i jord.....	157
5.5	Grundvattenförhållanden.....	90	7.3.2	Grundvattennivåsänkningar i berg.....	158
5.5.1	Grundvatten i jord.....	90	7.4	Influensområde.....	159
5.5.2	Grundvatten i berg.....	92	8.	Effekter.....	162
5.6	Påverkade grundvattenförhållanden.....	92	8.1	Allmänt.....	162
5.6.1	Dränerande byggnader och anläggningar.....	92	8.2	Grundvattenberoende grundläggning.....	162
5.7	Delområde 2.1 Inom Vallgraven.....	94	8.2.1	Effekter.....	165
5.7.1	Grundvattenmagasin 2:1a Nordstaden och 2:1b Inom Vallgraven.....	97	8.2.2	Olskroken.....	165
5.8	Delområde 2.2 Haga - Annedal.....	99	8.2.3	Gullbergsvass - Nordstaden.....	167
5.8.1	Grundvattenmagasin 2:2a Masthugget - Haga.....	102	8.2.4	Kvarnberget - Haga.....	169
5.8.2	Grundvattenmagasin 2:2b Olivedal - Annedal.....	107	8.2.5	Linné.....	171
5.9	Delområde 2.3 Sahlgrenska - Linné.....	108	8.2.6	Vasastaden - Korsvägen.....	173
5.9.1	Grundvattenmagasin 2:3a Änggården - Botaniska trädgården.....	111	8.2.7	Johanneberg.....	176
5.9.2	Grundvattenmagasin 2:3b Guldheden.....	111	8.2.8	Gårda - Örgryte.....	177
5.10	Delområde 2.4 Vasastaden.....	112	8.2.9	Almedal.....	178
5.10.1	Grundvattenmagasin 2:4a Vasastaden.....	115	8.3	Grundvattenberoende energianläggningar och brunnar.....	180
5.11	Delområde 2.5 Johanneberg - Landala.....	118	8.3.1	Effekter.....	180
5.11.1	Grundvattenmagasin 2:5a Landala och 2:5b Chalmers - Mossen.....	120	8.3.2	Olskroken.....	182
6.	Huvudområde Öst.....	126	8.3.3	Gullbergsvass - Nordstaden.....	183
6.1	Avgränsning.....	126	8.3.4	Kvarnberget - Haga.....	184
6.2	Topografi och ytavrinning.....	127	8.3.5	Linné.....	185
6.3	Berggrund.....	131	8.3.6	Vasastaden - Korsvägen.....	186
6.4	Jordlager.....	131	8.3.7	Johanneberg.....	187
6.5	Grundvattenförhållanden.....	131	8.3.8	Gårda - Örgryte.....	188
6.5.1	Grundvatten i jord.....	131	8.3.9	Almedal.....	189
6.5.2	Grundvatten i berg.....	133	8.4	Grundvattenberoende naturmiljöer.....	190
6.6	Påverkade grundvattenförhållanden.....	133	8.4.1	Effekter.....	190
			8.5	Förorenade områden.....	195
			8.5.1	Effekter.....	195

8.5.2	Olskroken	198
8.5.3	Gullbergsvass - Nordstaden	199
8.5.4	Kvarnberget - Haga	200
8.5.5	Linné	201
8.5.6	Vasastaden – Korsvägen	202
8.5.7	Johanneberg	203
8.5.8	Gårda - Örgryte	204
8.5.9	Almedal	205
8.6	Grundvattenberoende fornlämningar	206
8.6.1	Göteborg 216:1 Befästningsanläggningar och stadslager	206
8.6.2	Göteborg 342 Stadslager	209
8.6.3	Göteborg 135:1 Skansen Lejonet och Gullberg	209
8.6.4	Göteborg 436:1 Garnisonens begravningsplats	209
8.6.5	Göteborg 500 Johannebergs landeris trädgård och park	209
9.	Skyddsinfiltration	210
9.1	Allmänt	210
9.2	Genomförande	210
9.3	Risker med skyddsinfiltration	210
10.	Referenslista övriga dokument	212

1. Inledning

Föreliggande dokument, PM Hydrogeologi, utgör en del av underlaget för Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för Västlänken och Olskroken planskildhet. Olskroken planskildhet medför ingen grundvattenpåverkan varför projektet inte berörs i föreliggande PM

Det huvudsakliga syftet med PM Hydrogeologi är att redogöra för nuvarande hydrogeologiska förhållanden längs Västlänken samt redovisa den påverkan som bedöms kunna uppkomma till följd av Västlänkens vattenverksamhet (grundvatten).

Miljörelaterade effekter och konsekvenser av vattenverksamheten redovisas i ett separat dokument; Miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Den anläggning som planeras att byggas beskrivs i Teknisk Beskrivning (TB). Dessa båda dokument är delar av ansökan om tillstånd för vattenverksamhet enligt miljöbalken.

1.1 Projekt Västlänken - kort översikt

Västlänken är en planerad cirka 8 kilometer lång pendeltågsförbindelse genom centrala Göteborg, varav cirka 6,6 kilometer i tunnel, se orienteringskarta i figur 1.1. Nya stationer planeras vid Haga och Korsvägen och en ny stationsdel byggs vid Göteborgs Central.

Syftet med Västlänken är att öka järnvägens kapacitet och framkomlighet så att resandet i Göteborg och Västsverige underlättas. Västlänken är i första hand avsedd för regionala persontransporter men genom att delar av nuvarande banor och säckbangård avlastas ökar kapaciteten i hela systemet. Projektet ökar tillgängligheten och sprider resenärerna till nya målpunkter i centrala Göteborg och skapar därmed förutsättningar för ny och hållbar stadsutveckling.

I nordost ansluter Västlänken till Projekt Olskroken planskildhet som innebär en ombyggnad till fullständig planskildhet av knutpunkten mellan bland annat Bohusbanan, Norge-/Vänerbanan och Västra Stambanan. Denna nod är en av Sveriges mest intensiva knutpunkter för järnvägsstrafik.

Trafikverket har tagit fram två järnvägsplaner, en för respektive projekt. Järnvägsplanernas

utbredning redovisas översiktligt i figur 1.1. Gränsen mellan dessa två projekt markeras med röd linje (järnvägsplanegräns).

1.2 Planerad anläggning

Detta kapitel är en sammanfattning av Västlänken som inhämtats från Teknisk Beskrivning. För detaljer gällande anläggningens utformning och byggande hänvisas till Teknisk Beskrivning.

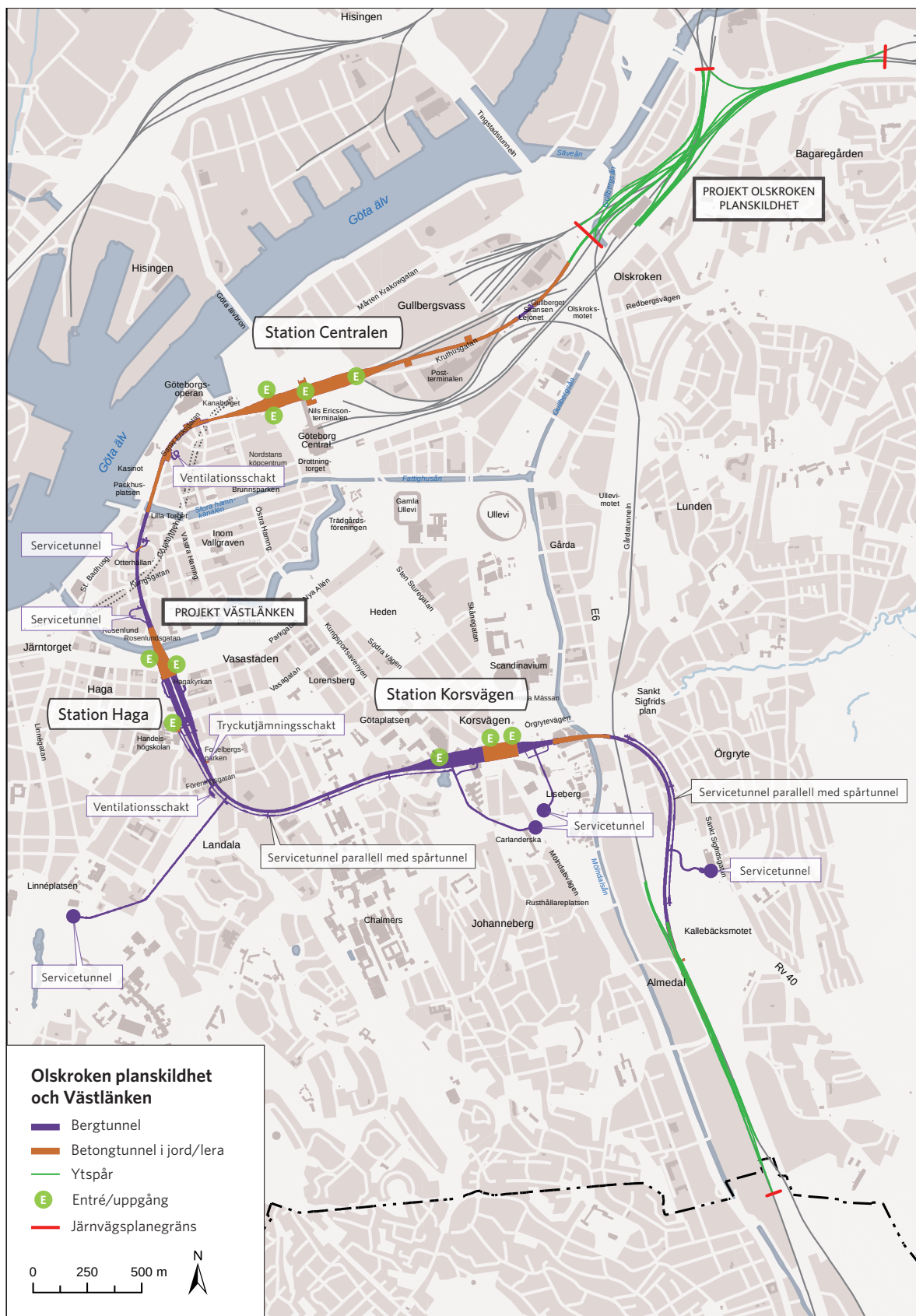
I följande text beskrivs Västlänken med början i nordöst vid gränsen mot Projekt Olskroken planskildhet. Anläggningen fortsätter i en västlig båge genom Göteborg med stationer Göteborgs Central, Haga och Korsvägen, för att i sydöst ansluta till befintlig järnväg, se figur 1.1.

Vid Olskroken passerar Västlänken över E6 på en ny dubbelspårsbro. Spåren går sedan ned i ett betongtråg som ansluter mot Västlänkens tunnelmynning på Gullbergs nordöstra sida. Här börjar Västlänkens 6,6 kilometer långa dubbelspårstunnel. Befintligt järnvägsspår, norr om Gullberg till Postterminalen, rivs och en ny förbindelse till terminalen byggs vid bangården vid Göteborgs Central. Den nya Station Centralen ligger norr om Göteborgs Central och delvis under Nils Ericson terminalen. Mellan Gullberg och Station Centralen planeras två serviceschakt.

Station Centralen ligger cirka 12 meter under marknivå och består av fyra spår och två plattformar. Stationen är cirka 60 meter bred och har 250 meter långa plattformar samt tre uppgångar – en mittuppgång i anslutning till Nils Ericson terminalen, en uppgång i öster mot Gullbergsvass och en uppgång i väster i närheten av köpcentret Nordstan och Kanaltorget.

Mellan Station Centralen och Stora Hamnkanalen går Västlänken i betongtunnel. läget är bland annat anpassat för att undvika intrång i befästningsverken under mark och för att klara passagen av Götatunneln. Efter passagen över Götatunneln, löper betongtunneln längs Packhuskajen under Stora Hamnkanalen och övergår därefter i bergtunnel. Genom berget vid Otterhällan passerar Västlänken åter Götatunneln i riktning mot Haga kyrkoplan.

För att anlägga denna del planeras en service-



FIGUR 1.1 Översiktskarta för järnvägsplanerna Västlänken och Projekt Olskroken planskildhet.

tunnel från Stora Badhusgatan, vilken mynnar i samma läge som nuvarande servicetunnel för Götatunneln. Ytterligare en servicetunnel föreslås som mynnar vid Rosenlundsgatan. Västlänken byggs som betongtunnel under Rosenlundskanalen mellan Rosenlundsgatan och Hagakyrkan.

Större delen av Station Haga byggs i berget under Haga kyrkoplan. Station Haga kommer att ligga cirka 25 till 35 meter under marknivån. Plattformarna är 250 meter långa och stationsuppgångar placeras i plattformсандarna. En fyrspårsstation blir cirka 65 meter bred. Stationens huvudentré blir i norr, med entréer i Alléstråket och vid Pustervikskajen. Uppgången vid Pustervikskajen fungerar som insatsväg för räddningstjänsten. I söder föreslås en stationsuppgång inom Handelshögskolans kvarter i samband med förnyelse av hörnet Vasagatan/Haga kyrkogata. En stor del av Station Haga byggs preliminärt från servicetunnel Haga som mynnar vid Linnéplatsen.

Mellan Station Haga och Station Korsvägen går Västlänken i en bergtunnel, cirka en kilometer lång, med en parallell servicetunnel på södra sidan. Arbetet med bergtunnlarna sker via servicetunnel Haga samt servicetunnel Korsvägen. Den senare mynnar vid Södra vägen, bredvid befintlig spårvägstunnel. Båda servicetunnlarna förläggs i berg. Servicetunnel Haga är cirka 920 meter lång och servicetunnel Korsvägen cirka 500 meter lång.

Station Korsvägen ligger i berg under Renströmsparken och Liseberg samt i betongkonstruktion under Korsvägen. Stationen är belägen cirka 17 meter under marknivån vid Korsvägen och cirka 32 meter under marknivån vid Renströmsparken. Stationen har 250 meter långa plattformar och är som fyrspårsstation cirka 65 meter bred. Stationen planeras ha tre uppgångar med en entré vardera - en mittre entré vid Korsvägen, en entré i väster vid Renströmsparken och en entré i öster nära Liseberg och Svenska Mässan. Den östra delen av Station Korsvägen byggs preliminärt från servicetunnel Liseberget som mynnar söder om Världskulturmuseet.

Öster om Station Korsvägen fortsätter Västlänken i betongtunnel under norra delen av Liseberg samt Mölndalsån. Öster om Mölndalsån går tunneln in i berget under E6/E20 och Gårdatunneln för att ansluta som ytspår i Almedal till Väst-kustbanan, Kust till kustbanan och till ett vändspår. På sträckan öster om E6/E20 byggs en

parallell servicetunnel. Tunnelsträckan byggs från servicetunnel Skår som mynnar vid Sankt Sigfridsgatan i söder. Servicetunnel Skår är en cirka 250 meter lång bergtunnel.

1.3 Västlänkens vattenverksamhet (grundvatten)

Västlänken är en cirka 8 kilometer lång dubbel-spårig pendeltågsförbindelse varav cirka 6,6 kilometer utgör berg- och betongtunnlar. Utöver spårtunnlar byggs tre nya stationer, servicetunnlar, entréer/uppgångar och teknikutrymmen. Anläggningen byggs till största delen under grundvattenytan och bedöms i sin helhet utgöra tillståndspliktig vattenverksamhet (grundvatten).

Angränsande Projekt Olskroken planskildhet innebär stora ombyggnader av spårsystemet i den nordöstra infarten till Göteborg, bland annat byggs ett antal större och mindre broar i syfte att ersätta belastade växlar med planskilda förbindelser. Ingen tillståndspliktig vattenverksamhet (grundvatten) planeras inom projektet. Planerad omgrävning av Gullbergsån bedöms inte medföra tillståndspliktig vattenverksamhet (grundvatten).

Övergripande målsättning för Västlänken när det gäller anläggningsskede och efter anläggningsskede är att skadlig grundvattensänkning ska förhindras. Detta ska i första hand åstadkommas genom tillfälliga och permanenta konstruktioner med hög täthet, i andra hand med kontroll- och skyddsåtgärder. Trots planerade tätkonstruktioner är det rimligt att förutsätta att ett visst läckage av grundvatten till Västlänkens anläggningar uppkommer.

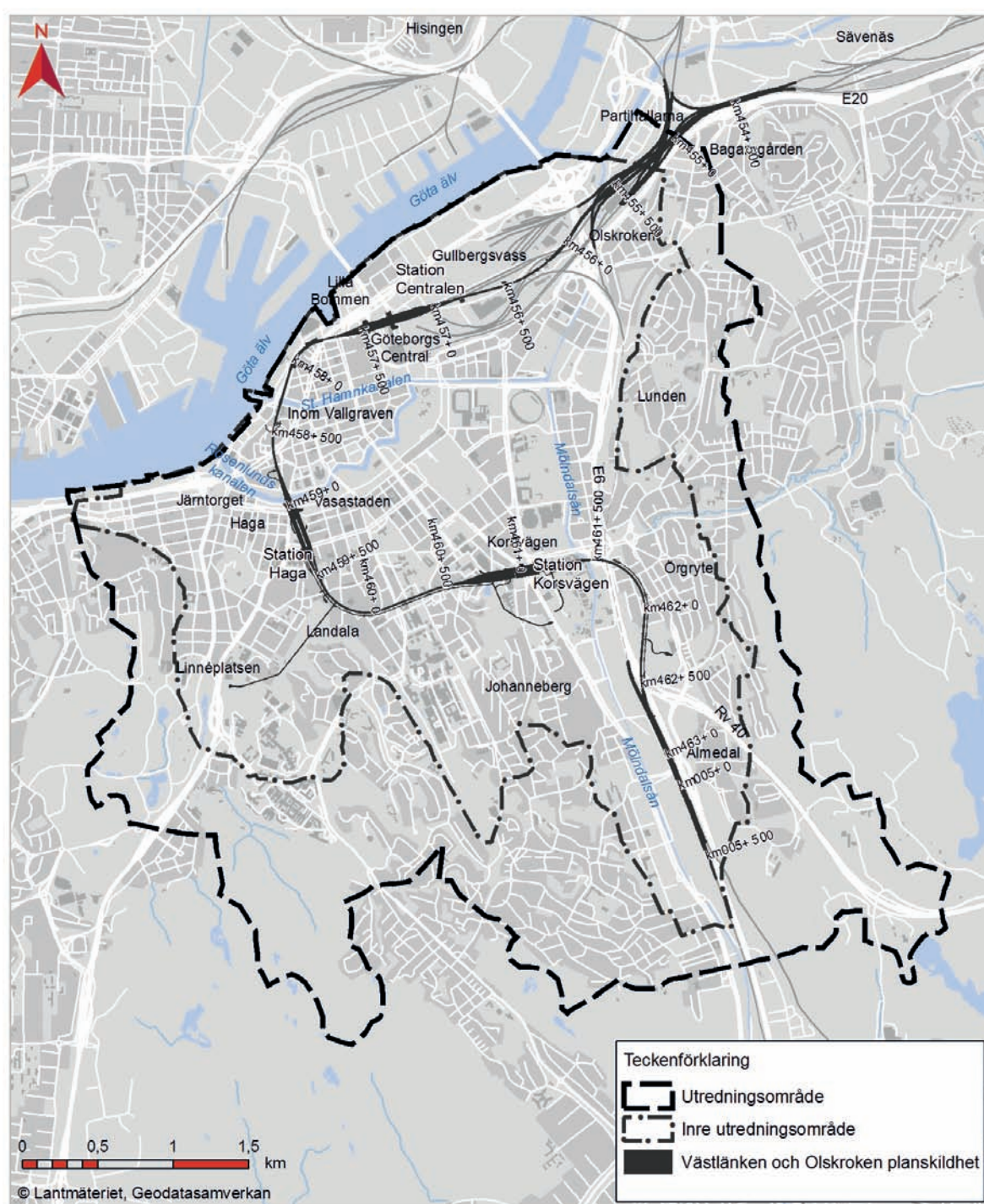
Området i anslutning till Västlänken utgörs av omväxlande höga bergnivåer och jordfyllda djupa sänkor i berg. Olika markförhållanden och anläggningens varierande djupläge innebär att Västlänken anläggs med olika byggmetoder och att färdig anläggning kommer att bestå av både berg- och betonganläggningar. Utöver tunnlar i jord och berg anläggs ett stort antal anslutningar för att möjliggöra kontakt med markytan, exempelvis entréer och serviceschakt.

Som underlag för de beskrivningar, analyser och bedömningar som redovisas i PM Hydrogeologi har olika typer av utredningar genomförts inom ett Utredningsområde, där huvuddelen utförts inom ett Inre utredningsområde, figur 1.2. En geologisk profil längs anläggningen visas i figur 1.3, av vilken framgår förekomst av berg och

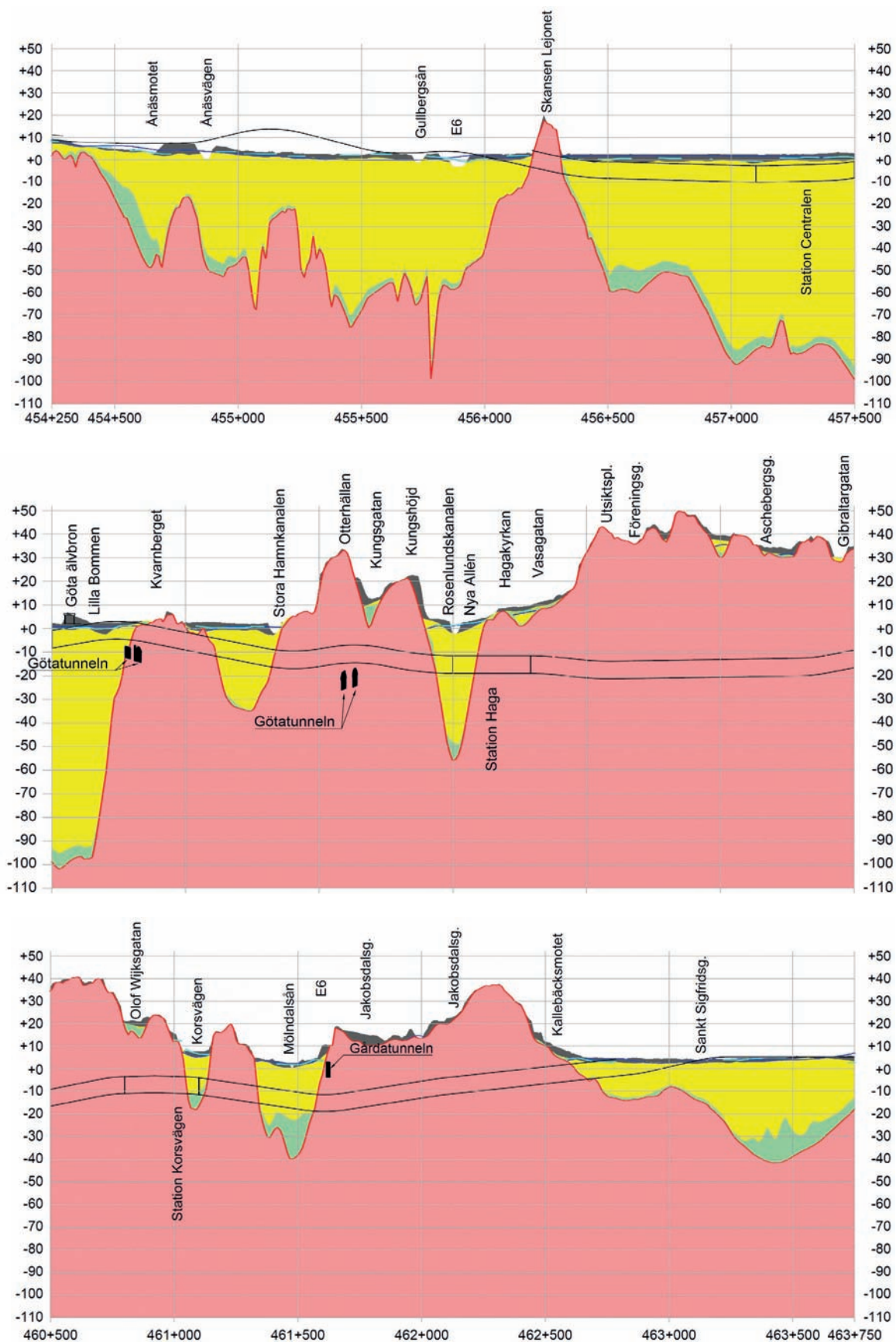
jord samt anläggningens djup under markytan. Passager av djupare jordfyllda sänkor förekommer vid Gullbergsvass, Stora Hamnkanalen, Rosenlundskanalen, Korsvägen och Mölndalsåns dalgång.

Av profilen framgår att Västlänkens anläggning ligger under grundvattennivån längs större

delen av sträckan, mellan längdmätning cirka 456+100 och cirka 463+200, en sträcka på cirka 7,1 kilometer. De hydrogeologiska miljöerna varierar längs sträckan med mycket stora skillnader när det gäller de vattenförande egenskaperna. Anläggningens djup under grundvattennivån uppgår som mest till drygt 70 meter.



FIGUR 1.2 Orienteringskarta för Västlänken och Olskroken planskildhet. För definition av Utredningsområde och Inre utredningsområde hänvisas till kapitel 1.6. Gräns mellan projekten visas i figur 1.1.



FIGUR 1.3 Översiktlig geologisk profil längs Västlänken (röd=berg, grön=friktionsjord, gul=lera och brun=fyllning). Blå linje illustrerar grundvattennivån i undre magasinet.

1.4 Strategi

Västlänken kommer till stora delar att byggas under rådande grundvattennivåer, vilket kommer att medföra bortledning av grundvatten under anläggningsskedet såväl som efter. Åtgärder för tätning av schakt och tunnlar i jord och berg utgår ifrån konventionella byggmetoder, men med utrymme för innovativa lösningar. Utgångspunkten är att de temporära och permanenta konstruktionerna och har hög täthet. Detta kommer emellertid inte att kunna uppnås på alla platser, vilket leder till att andra åtgärder behöver vidtas.

Västlänken anläggs på långa sträckor i berg samt på betydande djup. Primärt uppkommer grundvattenpåverkan i berg och på vissa sträckor i undre grundvattenmagasin i jord, medan påverkan i övre magasin huvudsakligen uppkommer sekundärt till följd av påverkan i undre magasin i jord. Grundvattennivåpåverkan i övre grundvattenmagasin i jord bedöms bli mycket begränsad och i huvudsak lokal. Erfarenheter från tidigare byggnationer visar att påverkan är som störst under anläggningsskedet, medan påverkan minskar efterhand till följd av att anpassade skadeförebyggande åtgärder vidtas.

Redogörelse för anläggningens utformning och tekniska lösningar finns i separat handling; Teknisk Beskrivning (TB). Denna handling fokuserar på de anläggningsdelar som är av betydelse för vattenverksamheten (grundvatten).

För att kunna bedöma risker i samband med grundvattenpåverkan har omfattande inventeringar och undersökningar utförts. Denna kunskap har använts för att skapa en bild av områdets geologi och hydrogeologi. En betydande del av föreliggande PM Hydrogeologi fokuserar på att redovisa kunskapsläget. PM Hydrogeologi är översiktlig till sin karaktär där olika beskrivningar av rådande hydrogeologiska förhållanden med mera, bygger på ett stort antal underlagsdokument och utredningar. För detaljerat underlag hänvisas i första hand till refererade underlagsdokument.

Den grundvattenbortledning som förväntas kan ge upphov till sänkta grundvattennivåer i anslutning till anläggningen. Som del i miljöprövningen samt för att hantera risker med att skador kan uppkomma, har ett influensområde definierats. Detta område är konservativt valt, det vill säga att någon nivåförändring utanför områdets gräns inte förväntas. Inom området förväntas att grundvattennivåpåverkan i huvudsak uppträder

lokalt, varför det inom influensområdet kommer att finnas stora områden där inga grundvattennivåförändringar uppstår.

Inom influensområdet finns ett stort antal allmänna och enskilda intressen som är grundvattenberoende och som skulle kunna skadas om grundvattennivåförändringar uppkommer. Dessa objekt har inventerats och redovisas i ett antal underlagsdokument samt i MKB. Identifierade objektstyper är grundvattenberoende grundläggning (byggnader och anläggningar), kulturlämningar i mark, energianläggningar och brunnar, grundvattenberoende naturvärden samt förorenade områden. Den enskilt största risken bedöms vara skador till följd av marksättningar och skador på grundläggning.

I föreliggande PM återfinns bedömning av påverkan i form av inläckage av grundvatten och grundvattennivåförändringar. Inläckage och grundvattennivåförändringar är svåra att prognosticera i detalj varför de kvantitativa bedömningar som gjorts av påverkan har bedömts med marginal. Detta innebär att den faktiska påverkan i huvudsak förväntas bli mindre än vad de underliggande prognoserna visar. Orsaken till denna strategi är att inte underskatta påverkan, särskilt när det gäller inläckagemängder, vilka är svåra att prognosticera eftersom tillgången på grundvatten är svår att bestämma.

I PM Hydrogeologi redovisas även bedömning av vilka skaderiskassocierade effekter grundvattenpåverkan kan ge upphov till. Redovisade effekter har använts för att bedöma vilka skadliga konsekvenser som kan uppkomma på allmänna och enskilda intressen. Denna bedömning återfinns i separat handling Miljökonsekvensbeskrivning (MKB).

1.5 Läsanvisning

I föreliggande PM Hydrogeologi redovisas vilken omgivningspåverkan Västlänkens anläggning bedöms kunna ge upphov till med anledning av projektets vattenverksamhet. I handlingen redovisas bedömt influensområde, vilka enskilda och allmänna intressen (riskobjekt) som riskerar påverkas samt vilka skyddsåtgärder som planeras för att hantera risker så att skador inte uppkommer. Eftersökning av äldre underlag samt kompletterande undersökningar har genomförts inom ett definierat Utredningsområde, vilket har delats in i tre Huvudområden.

I kapitel 2 redovisas vilken utredningsmetodik som använts och i kapitel 3 redovisas översiktligt utredningsområdets rådande geologiska och hydrogeologiska förhållanden. I kapitel 4 till 6 redovisas i detalj de tre huvudområdenas geologiska och hydrogeologiska förhållanden. Dessa tre kapitel kan läsas separat beroende på vilken geografisk del läsaren är intresserad av. I kapitel 7 och kapitel 8 redovisas anläggningens bedömda grundvattenpåverkan respektive vilka effekter som bedöms kunna uppstå på olika riskobjekt inom influensområdet. I kapitel 9 beskrivs genomförande av skyddsinfiltration.

Projektetets bedömda miljökonsekvenser redovisas i Miljökonsekvensbeskrivning (MKB).

1.6 Terminologi, begrepp och definitioner

I föreliggande handling används följande övergripande begrepp och definitioner:

Västlänken – planerad anläggning med bland annat dubbelspårstunnel, tre stationer, servicetunnlar, entréer/uppgångar och teknikutrymmen. I de fall enskilda anläggningsdelar avses, anges detta i löpande text. Termen anläggning används i detta dokument synonymt med de delar av Västlänken som innebär vattenverksamhet avseende grundvatten.

Vattenverksamhet (grundvatten) - benämningen på verksamheter och åtgärder som förändrar grundvattnets djup eller läge, avvattnar mark, bortleder grundvatten eller ökar grundvattenmängden genom tillförsel av vatten.

Utredningsområde – område inom vilket utredningar gjorts för att klarlägga hydrogeologiska och övriga georelaterade förhållanden samt för att identifiera objekt som är känsliga för grundvattenpåverkan. I anslutning till själva anläggningen har ett Inre utredningsområde definierats, inom vilket merparten av inventeringar och undersökningar utförts. Utredningsområdet är väl tilltaget och når i huvudsak ut till stabila hydrauliska gränser i syfte att fånga in samtliga relevanta förhållanden för att kunna beskriva projektets risker, effekter, funktionskrav, underlag för tekniska lösningar etcetera. Valet av utredningar och deras omfattning inom utredningsområdet styrs bland annat av närhet till projektets anläggningsdelar, hydrogeologiska förhållanden och förekomst av riskobjekt.

Huvudområde – Utredningsområdet har

delats in i tre huvudområden vars gränser utgör tydliga hydrauliska avgränsningar och/eller logiska administrativa gränser.

Skyddsinfiltration – Med skyddsinfiltration menas tillförande av vatten i grundvattenmagasin i syfte att motverka skadlig grundvattenpåverkan på riskobjekt i Västlänkens omgivning. Skyddsinfiltration kan även bli aktuell i direkt anslutning till anläggningens olika typer av tätkonstruktioner i syfte att begränsa påverkan från lokala läckage.

Influensområde (grundvatten) – område utanför vilket någon grundvattennivåpåverkan inte förväntas. Området är väl tilltaget (konservativt) och vid bedömning av dess utbredning har hänsyn tagits till planerade skyddsåtgärder såsom tätning av anläggningen samt skyddsinfiltration i direkt anslutning till anläggningen. Vid denna bedömning har dock skyddsinfiltration i anläggningens omgivning ej medräknats.

Vid utförda beräkningar har den yttre gränsen för influensområdet definierats av en grundvattensänkning på 0,3 meter i jord respektive 1,0 meter i berg (beroende på vilket som ger störst utbredning). Störst avsänkning i berg antas erhållas på tunnelnivå. I resterande del av PM Hydrogeologi används det kortare uttrycket influensområde i stället för influensområde grundvatten.

Grundvattenpåverkan – avser inläckage av grundvatten till anläggningen, influensområdets utbredning samt grundvattennivåförändringar inom influensområdet.

Riskobjekt – grundvattenberoende objekt inom influensområdet som riskerar att skadas till följd av vattenverksamhet (grundvatten), vilket huvudsakligen omfattar följande typer av objekt:

- Grundvattenberoende grundläggning – byggnader och anläggningar med grundläggning känslig för marksättningar och/eller med grundläggning som för sin funktion är direkt beroende av grundvattennivå. Denna objekttyp innefattar även grundvattenberoende fornlämningar i de fall de är beroende av grundvattennivå i övre magasin.
- Grundvattenberoende naturvärden – naturmiljöer (kulturmiljöer, terrestra naturmiljöer och rekreativa miljöer) som kan skadas av grundvattennivåförändringar.
- Grundvattenberoende energianläggningar i berg/brunnar - energibrunnar i berg och brunnar för vattenuttag vilka kan få begräns-

ningar avseende effektuttag/vattenuttag av sänkta grundvattennivåer.

- Förorenade områden – verksamheter som hanterar/hanterat kemiska ämnen vilka kan innebära förhöjd risk vid spridning. Ändrade grundvattenförhållanden kan påverka spridning, mobilisering med mera av föroreningar i mark och/eller vatten.

1.7 Underlagsdokument

Ett antal underlagsdokument har tagits fram inom ramen för det hydrogeologiska utredningsarbetet. Dessa dokument är:

- [1] MPU02-50GT-025-00-0002 PM Inventering grundvattenberoende grundläggning (2016-02-10)
- [2] MPU02-50GT-025-00-0003 PM Inventering grundvattenberoende energianläggningar och brunnar (2016-02-10)
- [3] MPU02-04-025-00-0001 PM Inventering förorenade områden (2016-02-10)
- [4] MPU02-50GT-025-00-0004 PM Hydrogeologi berg (2016-02-10)
- [5] MPU02-50GT-025-00-0005 PM Hydrogeologi jord (2016-02-10)
- [6] MPU00-50GT-025-00-0007 PM Grundvattenkemi (2016-02-10)
- [7] MPU02-50GT-025-00-0010 PM Geoteknik, sättningar (2016-02-10)
- [8] MPU02-30TE-025-00-0001 PM Beskrivning Hydromodell (2016-02-10)
- [9] MPU02-50GT-025-00-0006 PM Hydrogeologiska beräkningar (2016-02-10)

I föreliggande PM används noteringar [1]-[9] för hänvisning till specifika underlagsdokument.

Referenslista till övriga dokument eller annat underlag redovisas i kapitel 10.

2. Utredningsmetodik

Det finns omfattande dokumentation, kunskap och erfarenheter när det gäller mark- och grundvattenförhållanden samt av grundvattenproblematik för det aktuella utredningsområdet. Denna kunskapsbas har tillsammans med nya undersökningar använts för de analyser och prognoser som redovisas i föreliggande PM. Där genomförda analyser visar osäkerheter rörande skaderisker har konservativt valda betraktelsesätt använts. I föreliggande kapitel redogörs samlat och översiktligt för genomförda inventeringar, undersökningar och analyser.

2.1 Allmänt

Inom ramen för planerad anläggning har betydande utredningsinsatser genomförts för att öka den hydrogeologiska kunskapsbasen. Syftet med utredningsinsatserna är att klarlägga rådande förhållanden av betydelse för områdets hydrogeologi och för att identifiera projektets miljörisker. Dessa utredningsinsatser omfattar inventering, kompletterande undersökningar, beräkningar och analyser, vilka huvudsakligen utförts inom utredningsområdet. I detta kapitel beskrivs genomförda utredningar och vilka metodiker som använts samt var i dokumentet och i andra handlingar resultaten redovisas. En sammanfattande redovisning av genomförda utredningar ges i kapitel 2.3.

Utredningsarbetet har utförts i följande sekventiella steg:

1. Datainsamling (inventering/arkivsökning av befintligt äldre material)
2. Kompletterande undersökningar för Västlänken
3. Konceptuella modeller (successivt framtagna modeller)
4. Nulägesbeskrivning av rådande förhållanden (geologi och hydrogeologi)
5. Riskobjekt (identifiering och klassificering)
6. Hydrogeologiska analyser
7. Påverkan (inläckage, influensområde och grundvattennivåpåverkan)

Utförda inventeringar av olika objekt som kan påverkas av vattenverksamheten är samlade i följande underlagsdokument: [1] PM Inventering grundvattenberoende grundläggning, [2] PM Inventering grundvattenberoende energianläggningar och brunnar samt [3] PM Inventering förorenade områden. En samlad genomgång av riskobjekt återfinns i föreliggande handling i kapitel 2.6.

Vattenförande zoner i berg och konduktiva lager i jord kan ge lokala sänkningar av grundvattennivåer i berg och jord på avstånd från tunnelanläggningen. För att identifiera och karaktärisera zoner samt berggrundens geologiska och hydrogeologiska förhållanden har dokumentation från ett stort antal äldre bergtunnlar och undersökningar analyserats, nya brunnar borrats och hydraultester genomförts. En samlad genomgång av berggrundens hydrogeologiska förhållanden redovisas i underlagsdokument [4] PM Hydrogeologi berg. Jordlagrens uppbyggnad och hydrogeologiska förhållanden har utretts genom analys av äldre undersökningar samt genom nya sonderingsbörningar och hydrauliska observationer i olika typer av undersökningspunkter. En samlad genomgång av jordlagrens hydrogeologiska förhållanden redovisas i underlagsdokument [5] PM Hydrogeologi jord. I Göteborg finns mäktiga lager av lera samt tidigare och pågående marksättningar. En genomgång av lerans sättningsegenskaper och bedömning av olika områdens känslighet för grundvattensänkning redovisas i underlagsdokument [7] PM Geoteknik, sättningar.

Rådande förhållanden (nuläge) redovisas översiktligt i kapitel 3 i denna PM, samt i detalj i kapitel 4 till 6 där de tre huvudområdena beskrivs var för sig.

En betydande del av inventerat geologiskt och hydrogeologiskt material har samlats i en databas vilket möjliggjort ett flertal analyser och framtagande av olika modeller, bland annat bergnivåmodell, modell över jordlager samt grundvattennivåmodell. Metodbeskrivning för framtagande av modeller redovisas i underlagsdokument [8] PM Beskrivning Hydromodell.

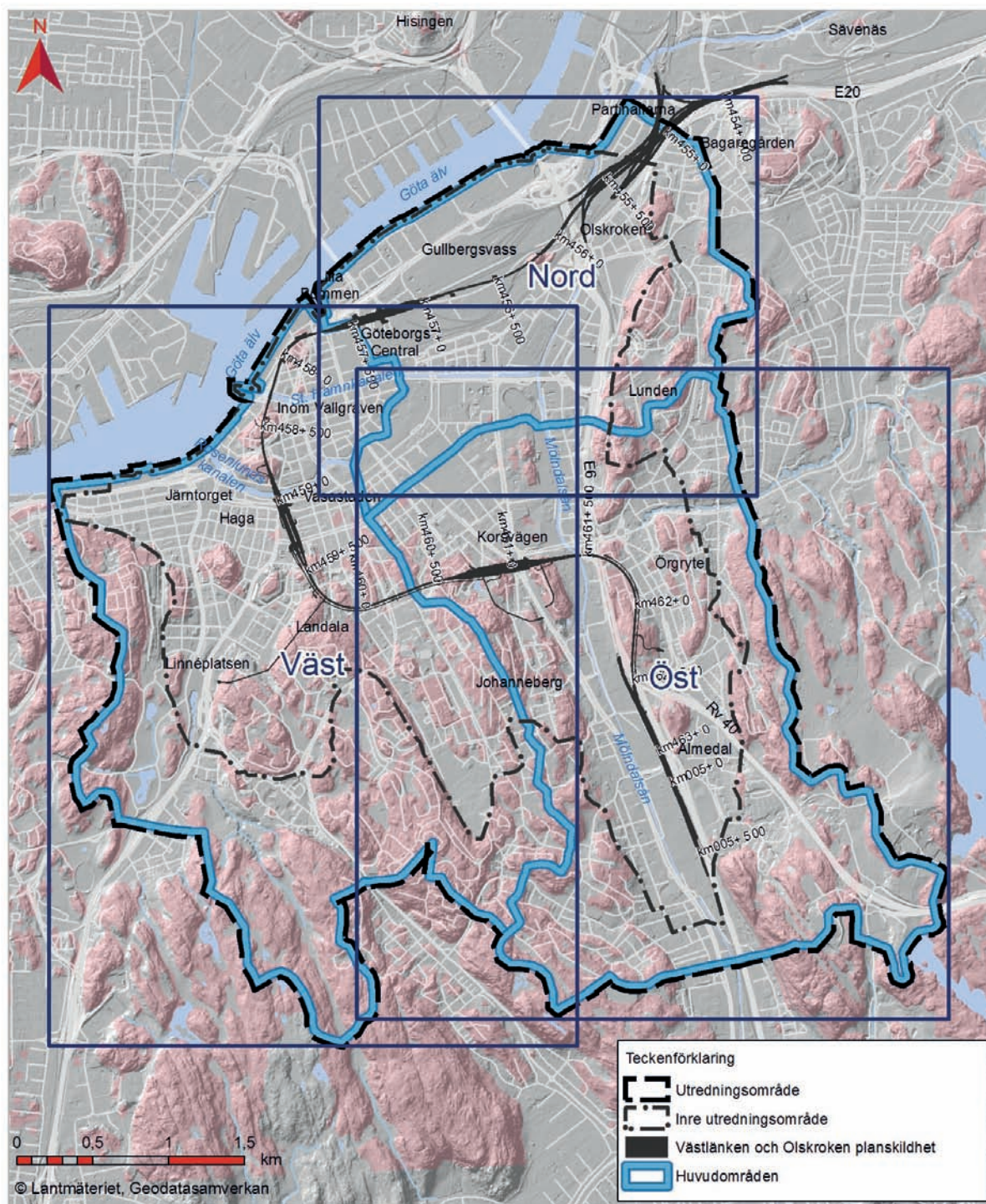
För bedömning av påverkan har ett flertal beräkningar och grundvattenmodelleringar utförts, vilka är sammanställda i underlagsdokument [9] PM Beräkningar.

2.2 Områdesindelning

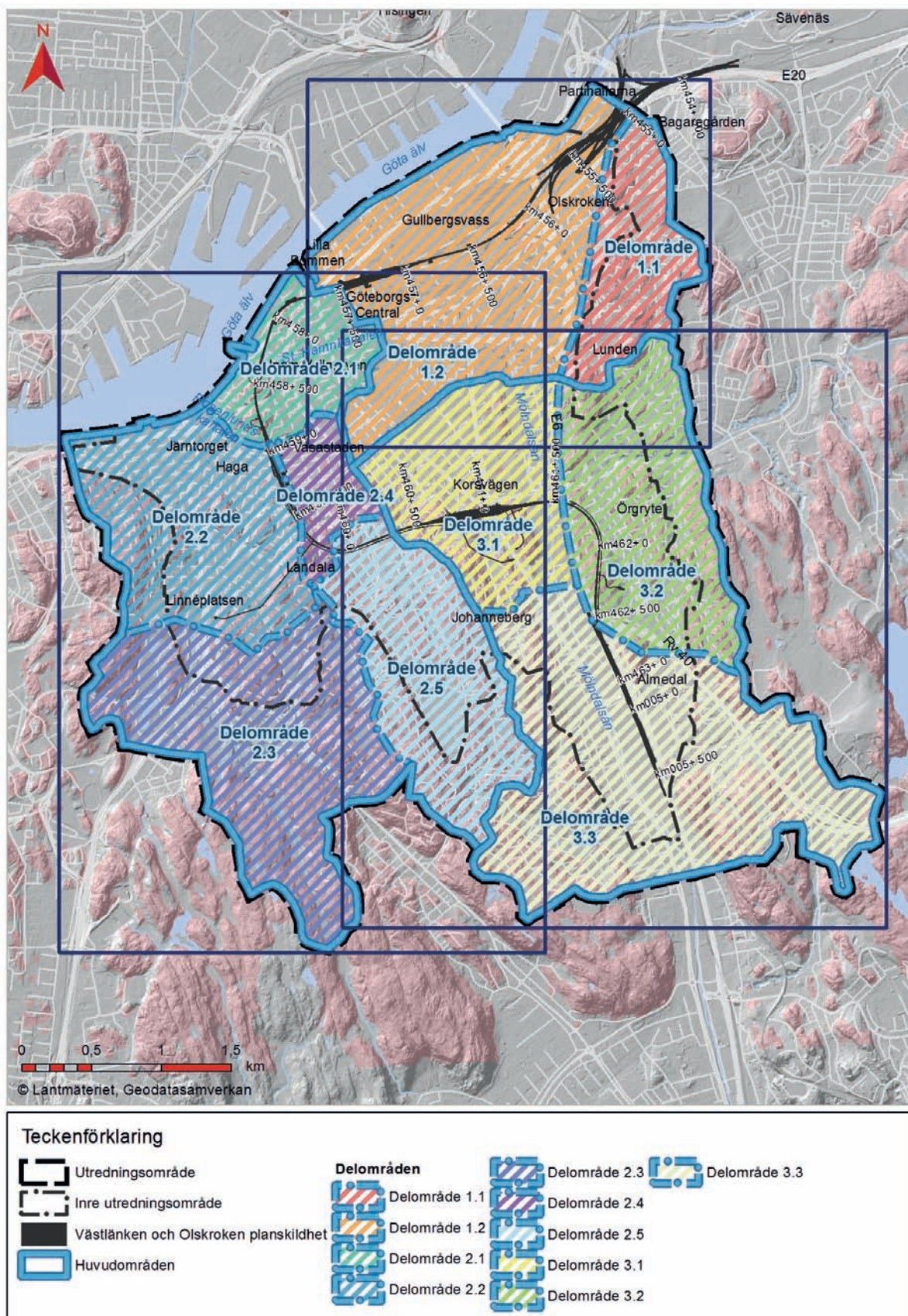
Ett utredningsområde har tagits fram inom vilket eftersökning och insamling av befintlig data, fältundersökningar, beräkningar och analyser har utförts, se figur 2.1. Inventeringar och undersökningar har koncentrerats till områden i anslutning

till Västlänken (Inre utredningsområde). Utredningsområdet är väl tilltaget (konservativt) så att tunnelns influensområde med marginal ligger inom utredningsområdet.

Utredningsområdet är indelat i tre huvudområden med avgränsningar som i huvudsak utgör hydrogeologiska gränser såsom tydliga vattende-



FIGUR 2.1 Utredningsområde och Inre utredningsområde samt indelning i tre huvudområden: Nord, Väst och Öst. I figuren visas även de kartramar som används i föreliggande PM i kapitel 4-6.



FIGUR 2.2 Utredningsområdets indelning i delområden för de tre huvudområden Nord, Väst och Öst vilka har numrering 1, 2 respektive 3. Gräns för huvudområden visas med heldragen blå linje.

lare och vattenområden. I nedan följande punktlista redovisas i vilka kapitel geologiska och hydrogeologiska förhållanden beskrivs. De tre huvudområdena är (figur 2.1):

- Huvudområde Nord (kapitel 4)
- Huvudområde Väst (kapitel 5)
- Huvudområde Öst (kapitel 6)

Varje huvudområde omfattar flera delavrinningsområden och grundvattenmagasin i jord. Delområden visas i figur 2.2.

2.3 Genomförda utredningar

I föreliggande kapitel beskrivs översiktligt vilka inventeringar (arkivsökningar), karteringar och kompletterande undersökningar som utförts i syfte att insamla relevant kunskap när det gäller geologiska och hydrogeologiska förhållanden.

Inventeringsarbetet har omfattat arkivsökning av geoinformation, befintliga berganläggningar och äldre geologiska, geotekniska och hydrogeologiska undersökningar. Kompletterande undersökningar har omfattat sonderingsborrning i jord och undersökningsborrning i berg samt etablering av grundvattenrör, porttrycksmätare och brunnar i jord och berg. Undersökningsinsatserna har fokuserats till områden där osäkerheter i underlaget bedömts kunna påverka utfallet av riskbedömningar gällande vattenverksamhetens konsekvenser.

2.3.1 Arkivsökning av geoinformation

Ett omfattande inventeringsarbete har genomförts inom utredningsområdet för att få kunskap om geologiska och hydrogeologiska förhållanden. Utredningsinsatser har efterhand fokuserats till områden där det finns ett flertal grundvattenberoende riskobjekt och till områden med konstaterade kunskapsbrister som kan ge olika typer av osäkerheter vad gäller grundvattenpåverkan.

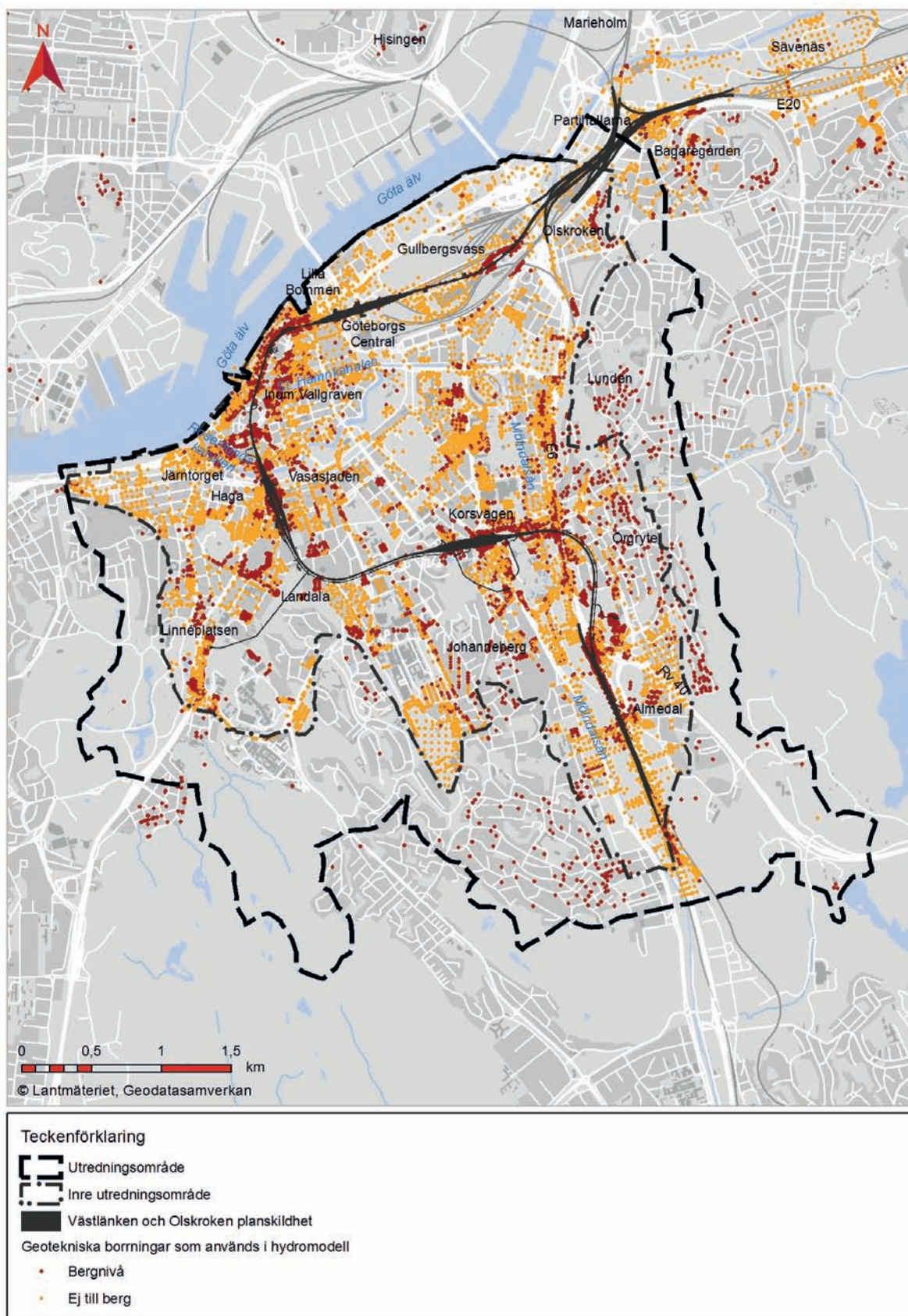
Inom ramen för systemhandlingsuppdragen perioden 2012-2013 har inventering av tidigare utförda undersökningar gjorts inom järnvägskorridoren avseende hydrogeologi, geoteknik och bergteknik.

I arbetet med framtagande av ansökan om tillstånd enligt miljöbalken har under perioden 2014-2015 utförts kompletterande inventering inom utredningsområdet (huvudsakligen i områden utanför järnvägskorridoren).

Vid utförd inventering har material bland annat inhämtats från:

- Göteborgs stads geoarkiv: Stadsbyggnadskontoret och Trafikkontoret
- SGU
- Trafikverkets geoarkiv
- Konsultbolag

Geotekniska data har inventerats och nya undersökningar genomförts i syfte att inhämta kunskap om jordlagrens uppbyggnad (lagerföljd och geotekniska egenskaper). Denna information har



FIGUR 2.3 Geotekniska fältundersökningar som använts för att bygga konceptuella modeller (Hydromodell). Rödmarkerade sonderingsborrningar är utförda ner till berg medan de gulmarkerade inte bedöms vara utförda ner till berg.

använts för uppbyggnad av geologiska modeller samt för beskrivning av jordlagrens hydrogeologiska och geotekniska egenskaper.

Hydrogeologiska data har inventerats och nya undersökningar genomförts i syfte att identifiera grundvattenmagasin och konduktiva strukturer (bland annat svaghetszoner), samt beskriva grundvattenförhållanden i jord och berg.

Berggrundens och jordlagrens hydrogeologiska förhållanden har sammanställts och redovisas samlat i underlagsdokument [4] respektive [5]. Information rörande berggrund och jordlager har inarbetats i PM Hydrogeologi och redovisas särskilt i kapitel 3 till 6.

Inventerad data har använts för uppbyggnad av konceptuella modeller, se kapitel 2.4. Baserat på framtagna modeller och övrigt geologiskt och hydrogeologiskt underlag redovisas rådande förhållanden i en nulägesbeskrivning, se kapitel 2.5.

Undersökningpunkter som använts för att bygga upp konceptuella modeller (Hydromodell) redovisas i figur 2.3. Rödmarkerade sonderingsborrningar är utförda ner till berg medan de gulmarkerade inte bedömts vara utförda ner till berg. Det framgår av figur 2.3 att borrningar till berg är mycket få i områden med stora jorddjup. Områden där sonderingsborrningar i jord saknas domineras av höga bergnivåer med tunna jordlager eller med berg i dagen.

2.3.2 Inventering av befintliga berganläggningar

Inventering av befintliga undermarksanläggningar i berg har utförts genom sammanställning av olika källmaterial och kontakter med tunnelägare. Eftersom ett flertal anläggningar är sekretessbelagda eller hemliga redovisas inte dessa i föreliggande PM Hydrogeologi. Tillgängliga tunnlar har besiktigats okulärt i begränsad omfattning. Utöver tunnlar finns berganläggningar som i huvudsak används som garage, skyddsrum och lager. Resultat, i den mån de får offentliggöras, redovisas i [4] samt översiktligt i kapitel 3-6.

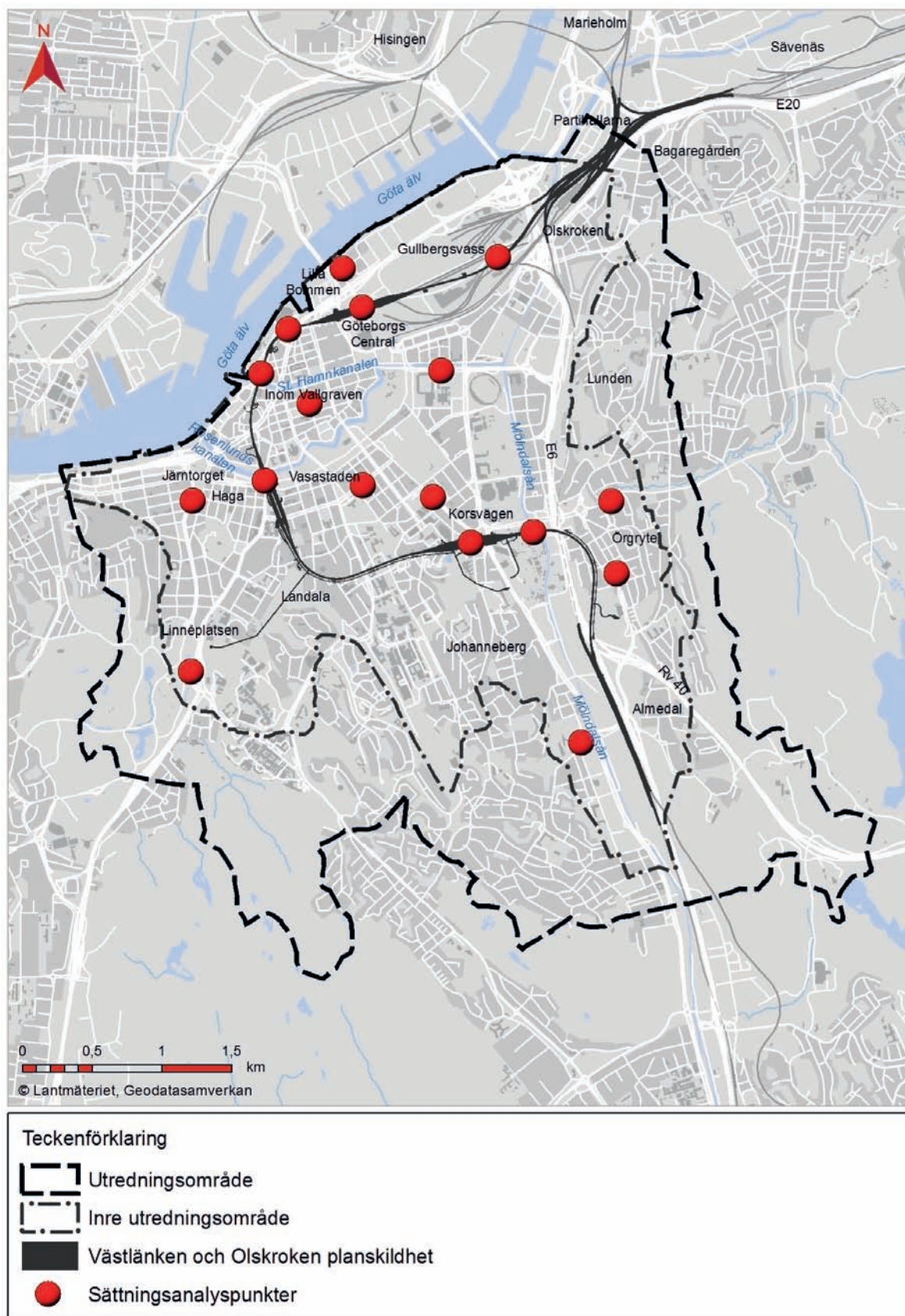
2.3.3 Geologiska och geotekniska undersökningar

Äldre geologiska och geotekniska undersökningar har inventerats och nya undersökningar genomförts i syfte att inhämta kunskap om jordlagrens uppbyggnad. Denna information har använts för uppbyggnad av geologisk modell samt för beskrivning av jordlagrens geotekniska och hydrogeologiska egenskaper, se underlagsdokument [5] och [7].

I samband med framtagande av järnvägsplan och systemhandling för Västlänken har ett stort antal geotekniska fält- och laboratorieundersökningar genomförts under åren 2012-2013.

För att klarlägga sättningsproblematiken i anslutning till Västlänken har grundläggningskartläggning, sättningsuppföljning av befintliga byggnader, anläggningar och mark samt inventering av portrycksstationer genomförts. Nya grundvattenrör, portrycksstationer, mät-dubbar och bälgsättningsmätare har installerats. Sättningsuppföljning av nya och äldre mät-dubbar pågår.

I syfte att översiktligt studera vilka sättningar som kan uppstå inom olika områden vid hypotetiska grundvattensänkningar i undre grundvattenmagasin, har sättningsanalyser utförts för ett antal punkter inom delar av utredningsområdet, figur 2.4. Beräkningar har utförts för fyra olika lerdjup (10, 20, 40 och 60 meter beroende av faktiska lermäktigheter) och för fyra olika hypotetiska trycksänkningar (0,5, 1,0, 2,0 och 4,0 meter). Beräkningar har gjorts för påverkan under 1, 2, 6, 12, 24, 60 och 120 månaders tidsrymd. Krypsättningar inkluderas inte i utförda beräkningar. För detaljer hänvisas till [7].



FIGUR 2.4 Punkter/områden där sättningsanalyser genomförts [7].

2.3.4 Hydrauliska undersökningar

Äldre hydrogeologiska undersökningar har inventerats och nya undersökningar genomförts i syfte att inhämta hydrogeologisk kunskap om jordlager och berggrund. I samband med framtagande av järnvägsplan och systemhandling för Västlänken har hydrauliska fältundersökningar genomförts under åren 2012-2014, varefter ytterligare undersökningar utförts och planeras att utföras. Data är sammanställt i underlagsdokument [4] och [5]. Inhämtad data har använts för uppbyggnad av hydrogeologiska modeller samt för beskrivning av jordlagrens och berggrundens hydrauliska egenskaper.

Hydrauliska egenskaper i jord och berg har undersökts genom tester och mätningar i grundvattenrör samt brunnar i jord och berg. Hydrauliska försök har bland annat omfattat provpumpningar, pulstester och nivåmätningar, se vidare kapitel 2.3.5.

Grundvattenrör

Äldre grundvattenrör i undre och övre grundvattenmagasin i jord har inventerats och nya rör har installerats i syfte att komplettera befintliga grundvattennät. När det gäller historiska grundvattendata kan särskilt nämnas Stadsbyggnadskontorets grundvattendatabas.

Jordlagerföljd och förekomst av vattenförande jordlager har undersökts genom geoteknisk sondering. Huvuddelen av rören har installerats i undre grundvattenmagasin och ett mindre antal i övre magasin. Installerade grundvattenrör i undre magasin redovisas i figur 2.5 och i övre magasin i figur 2.6. Kompletterande installationer, framförallt i övre magasin, pågår.

Grundvattenrör har i första hand etablerats för registrering av grundvattennivåer. I ett flertal rör har hydrauliska tester utförts för att insamla underlag rörande bedömning av jordlagrens vattenförande egenskaper.

Brunnar i jord

Brunnar i jord har installerats på 9 platser i de större undre grundvattenmagasinen (figur 2.7). Brunnarna har utförts för att ha så god kontakt med de konduktiva jordlagren som möjligt, detta för att möjliggöra testning av magasinens hydrauliska egenskaper [5].

Brunnar i berg

Det huvudsakliga syftet med kompletterande undersökningar i berg är att identifiera svaghetszoner och att karakterisera dessa hydrauliskt samt att karakterisera berget och dess hydrauliska egenskaper längs Västlänken. Borrning i berg har utförts med hammarborrning och kärnborrning, figur 2.8.

Hammarborrning har utförts perioden 2012-2014 enligt följande:

- Borrningar vid planerade tunnelpåslag (15 stycken)
- Borrningar längs planerad bergtunnelsträcka mellan Station Haga och Station Korsvägen (12 stycken)
- Borrningar för servicetunnlar (11 stycken)
- Borrningar i Almedalsberget (3 stycken)

Hammarborrningarna vid tunnelpåslagen har som syfte dels att förmedla en bild av genomborrade jordarter och provta dessa, dels att studera de hydrauliska egenskaperna i undre friktionsjordlager och i ytberg. Borrhålen utfördes med olika lutningar från horisontalplanet ner till vanligtvis ca 5 meter under planerad tunnelbotten. Sammanlagt har 15 hammarborrhål av detta slag utförts vid lägena för planerade bergtunnelpåslag.

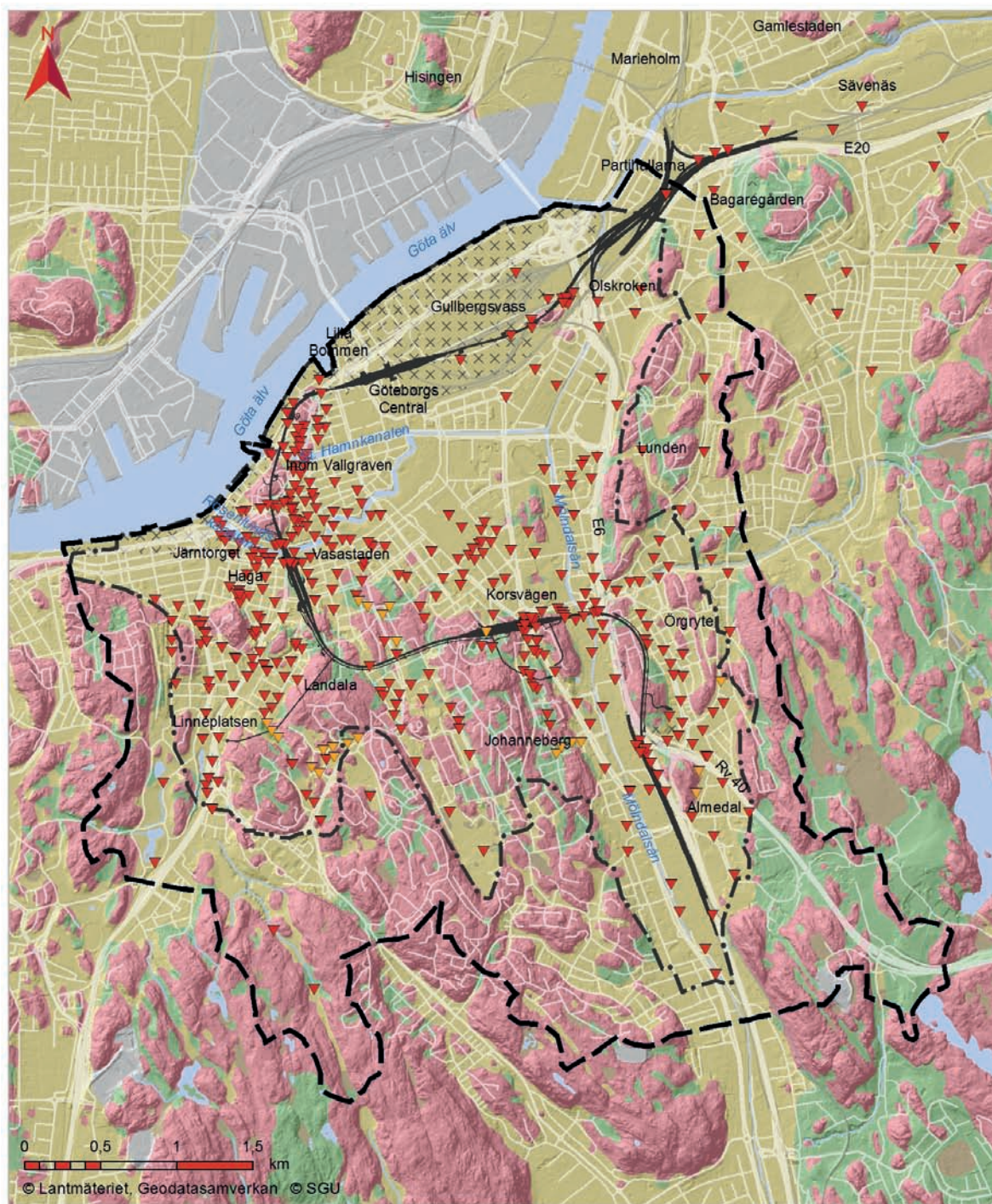
Mellan Station Haga och Station Korsvägen har 12 borrhål utförts i syfte att hydrauliskt undersöka förmodade svaghetszoner baserat på geologisk ytkartering samt på information från SGUs berggrundskarta och kartering av befintliga berganläggningar.

Inom ramen för undersökningar för servicetunnlar har sammanlagt 11 hammarborrhål utförts. Placeringen av borrhålen baserades på SGUs karta över svaghetszoner. Borrhålen utfördes till en nivå lägre än planerad tunnelbotten i respektive område.

Inom Almedalsberget har ytterligare tre hammarborrhål utförts. Motivet för borrningarna var att tidigare utförda borrhål i området indikerat avvikande hydrauliska egenskaper än i övrigt.

Kärnborrhål har utförts perioden 2012-2015 enligt följande [5]:

- Borrningar mot förmodade svaghetszoner (4 stycken)
- Borrningar längs planerade servicetunnlar (11 stycken)



Teckenförklaring



Utredningsområde



Inre utredningsområde



Västlänken och Olskroken planskildhet

Interpoleringspunkter undre grundvattenmagasin

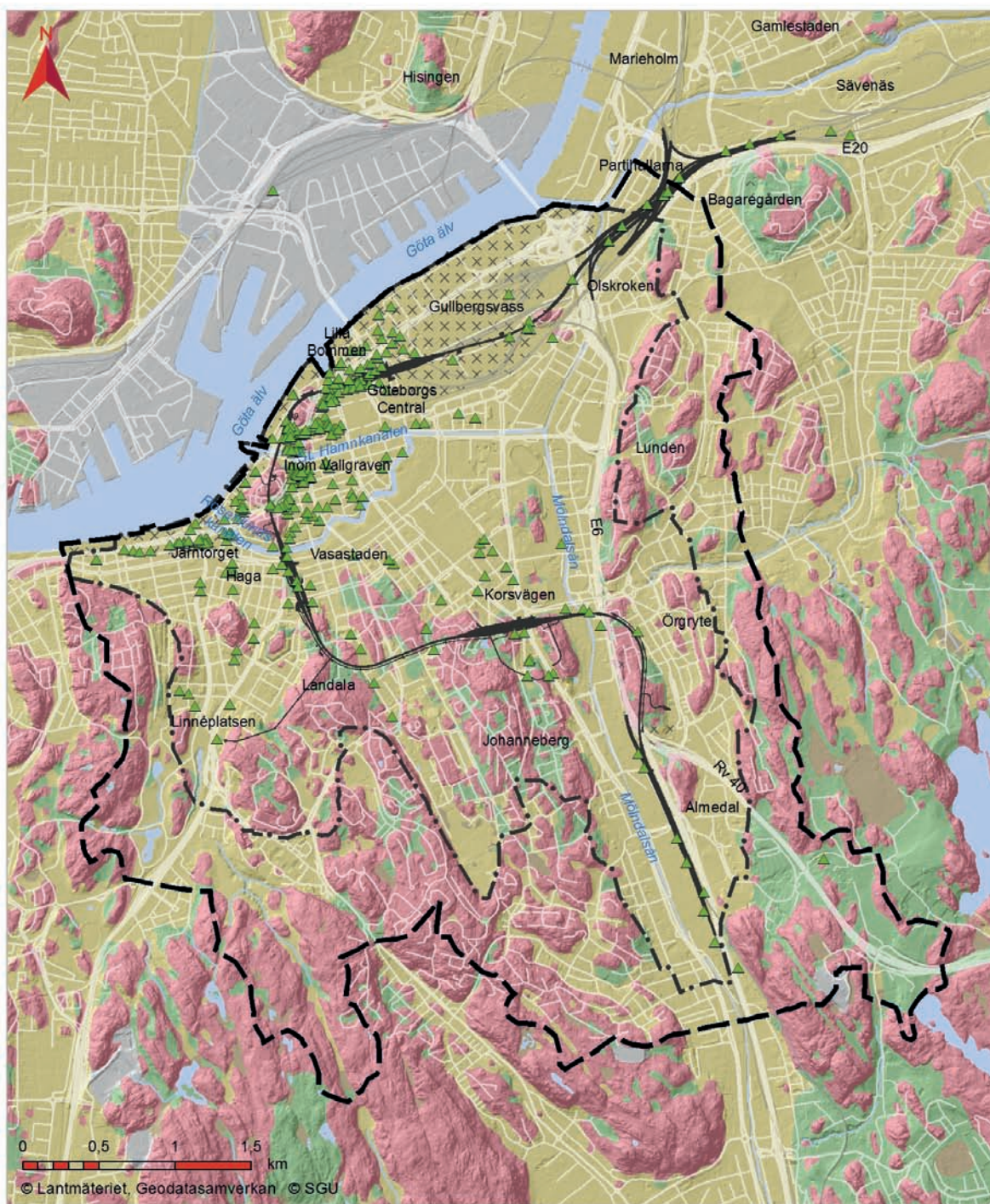


Interpoleringspunkt



Stödpunkt

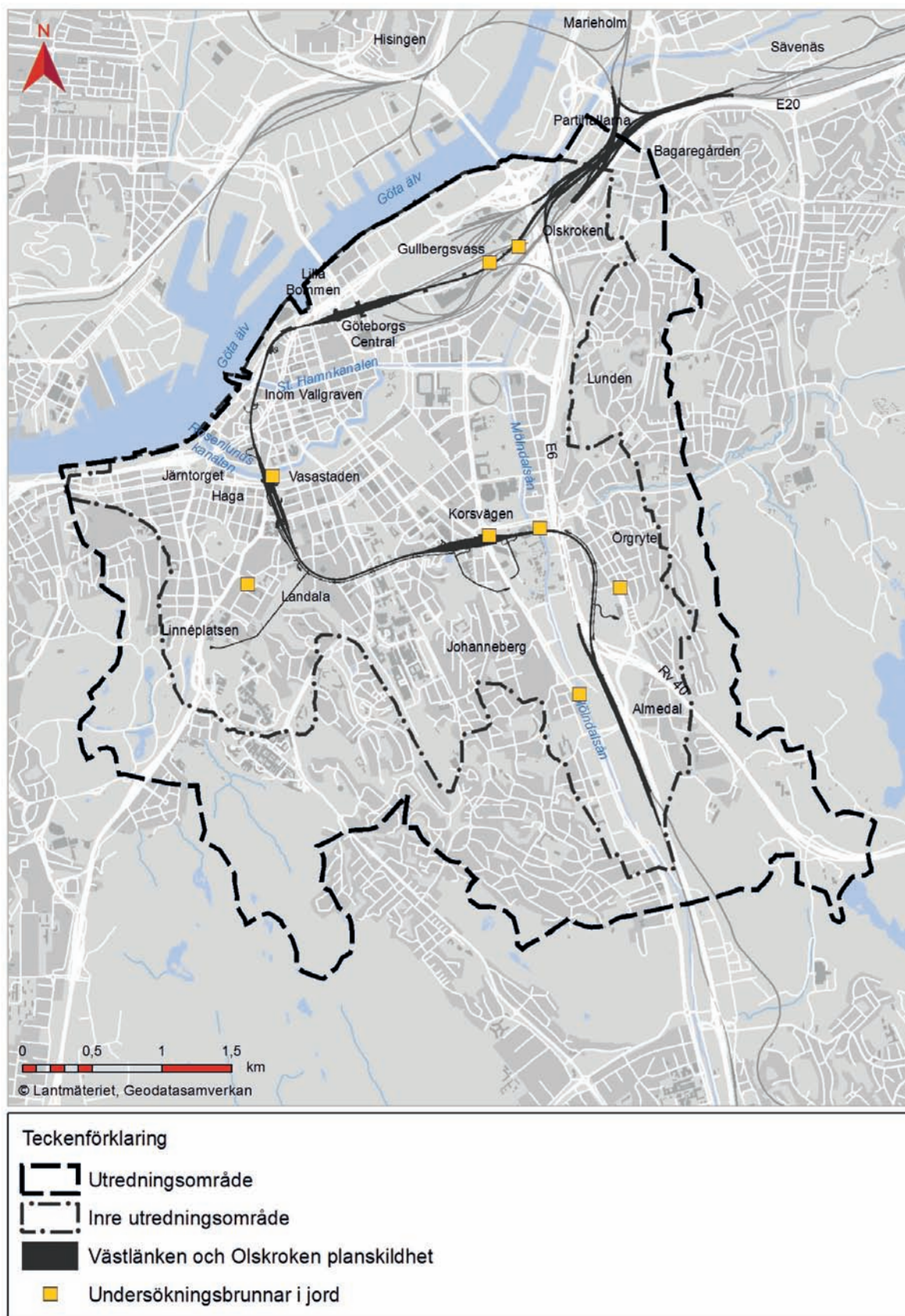
FIGUR 2.5 Grundvattenrör i undre grundvattenmagasin i jord som använts för analys av grundvattennivåer och för utbredning av grundvattenmagasin. Redovisade interpoleringspunkter avser grundvattenrör med nivådata. Stödpunkt avser punkt där hypotetisk grundvattennivå adderats i syfte att anpassa interpoleringen till exempelvis bergnivåer.



Teckenförklaring

- Utredningsområde
- Inre utredningsområde
- Västlänken och Olskroken planskildhet
- Interpoleringspunkter grundvattenmagasin övre

FIGUR 2.6 Grundvattenrör i övre grundvattenmagasin i jord som använts för analys av grundvattennivåer. Redovisade interpoleringspunkter avser grundvattenrör med nivådata.



FIGUR 2.7 Undersökningsbrunnar i jord utförda inom ramen för Västlänken.

- Borrningar för hydraulisk karakterisering (3 stycken)

Kärnborrningarna har som syfte att undersöka bergförhållanden (bergkvalitet) samt för studera de hydrauliska egenskaperna. Undersökningarna har omfattat kärnkartering, BIPS-filmning, bergmekanisk laborietestning och vattenförlustmätningar.

Lägena för hammarborrhål och kärnborrhål visas i Figur 2.8. För ytterligare beskrivningar av respektive borrhål hänvisas till underlagsdokument [5].

2.3.5 Hydrauliska försök

Genomförda hydrauliska försök har omfattat grundvattennivåmätningar samt hydrauliska tester i rör och brunnar.

Mätning av grundvattennivå

Inom projektet har nivåmätning utförts i grundvattenrör, jordbrunnar och bergbrunnar. Mätning har utförts med lod eller med automatiskt loggande tryckgivare.

Mätning av grundvattennivåer har utförts både som långtidsmätning och korttidsmätning. Långtidsmätning innebär att en mät punkt ingår i ett mätprogram med periodvis återkommande mätningar som fortlöper under företrädesvis flera år. Syftet med dessa mätningar är att observera grundvattennivåns årstids- och årsvariationer inom ett grundvattenmagasin. Korttidsmätningar utförs vanligtvis i samband med hydrauliska försök.

Hydrauliska tester

Hydrauliska tester har utförts i brunnar och i rör i syfte att kvantifiera jordlagrens och berggrundens hydrauliska egenskaper. Sammantaget har ett 60-tal hydrauliska tester gjorts. Fyra typer av hydrauliska tester har använts:

- Pulstester
- Provpumpningar
- Kapacitetstester och återhämtningsförsök i samband med borrning
- Vattenförlustmätningar (i kärnborrhål)

De olika testerna har utförts och utvärderats i enlighet med gängse metodik. För detaljer hänvisas till exempelvis Kruseman, G. & de Ridder, N. (1990).

Pulstester och vattenförlustmätningar ger hydraulisk information lokalt och i liten skala i anslutning till undersökningspunkter, medan provpumpningar, kapacitetstester och återhämtningsförsök efter borrning ger hydraulisk information för ett större område, särskilt om testerna görs som interferensförsök. Vid interferensförsök genomförs även mätningar i omgivande grundvattenobservationspunkter.

Provpumpningar har utförts för kvalitativ och kvantitativ karakterisering av jordlagrens och berggrundens hydrauliska egenskaper. Kvalitativ utvärdering avser bland annat påverkan från nederbörd och olika typer av hydrauliska ränder samt dominerande flödesregimer. Kvantitativ utvärdering avser bland annat utvärdering av hydrauliska egenskaper.

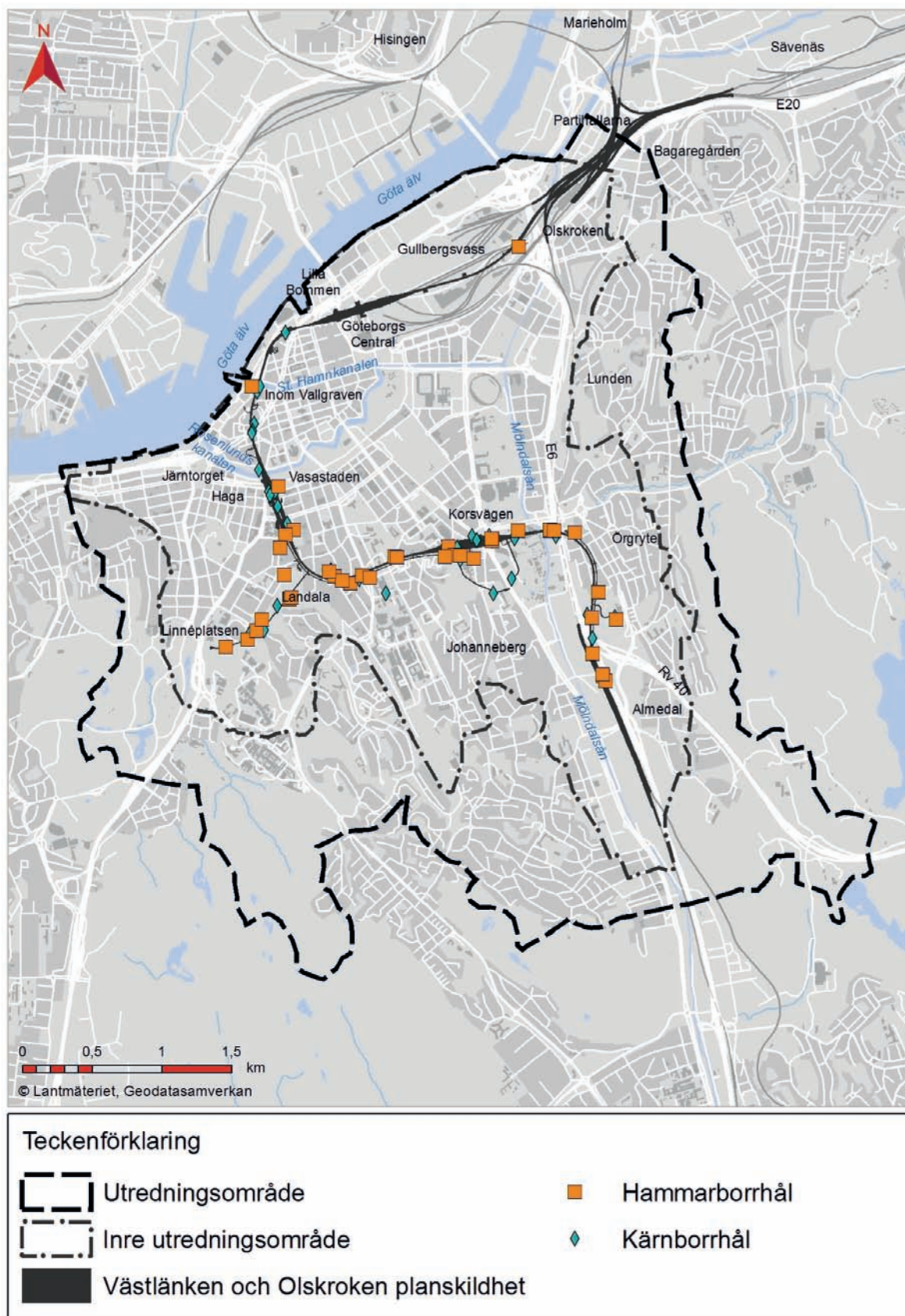
När det gäller utvärdering av hydrauliska egenskaper för grundvattenmagasin i jord och berg har i första hand resultat från provpumpningar i form av interferensförsök använts. Dessa tester (transienta) har pågått i upp till cirka två veckor och möjliggjort utvärdering av flödesregimer och identifiering av hydrauliska gränser vilket ökat analysernas tillförlitlighet. Testerna har även använts för att studera berggrunden samt berggrundens hydrauliska kontakt med ovanliggande grundvattenmagasin i jord.

2.3.6 Vattenprovtagning och analys

Grundvatten har provtagits och analyserats med följande tre huvudsakliga syften:

- Vattenkemisk karakterisering
- Vattnets aggressivitet
- Förekomst av föroreningar

För detaljer och resultat hänvisas till underlagsdokument [6]. Undersökningspunkter i vilka provtagning av grundvatten genomförts visas i figur 2.9.



FIGUR 2.8 Hammarborrhål och kärnborrhål utförda inom ramen för Västlänken.

2.3.7 Hydrogeologisk fältkartering

Det finns två kvartärgeologiska kartor över Göteborg: SGUs jordartskarta och Stadsbyggnadskontorets (SBKs) karta. Genom att jämföra dessa kartor noteras skillnader när det gäller jordarter och jordartsgränser samt förekomst av berg i dagen. SBKs karta bedöms ha en högre detaljupplösning och bättre precision än SGUs karta när det gäller jordlagrens avgränsning mot berg. SBKs karta å andra sidan täcker endast Göteborgs mest centrala områden och stora delar av utredningsområdet omfattas därmed inte.

En ny geologisk karta har tagits fram genom att analysera kartmaterial och sonderingsdata. Där större och avgörande osäkerheter noterats har fältkartering gjorts. Den nya kartan redovisar områden med friktionsjord, lera (kohesionsjord) och berg i dagen eller berg med tunna jordlager. Med friktionsjord avses jordlager som domineras av grovsilt och grövre jordfraktioner. Den nya kartan används för all geologisk kartredovisning i föreliggande PM.

2.4 Konceptuella modeller

Insamlad data har på ett strukturerat sätt bearbeitats genom framtagande av konceptuella modeller, vilka bland annat använts för analys av osäkerheter och identifiering av behov av kompletterande datainsamling och undersökningar. Syftet med modellerna är att systematisera och visualisera geologiska och hydrogeologiska förhållanden för beskrivning av rådande förhållanden längs Västlänken.

2.4.1 Iterativ modelluppbyggnad

Den hydrogeologiska konceptualiseringen har utförts i steg i iterativa cykler. Detta innebär att en inledande datainsamling av befintligt material har gjorts, varefter en översiktlig första beskrivande modell tagits fram. Denna primära modell har utgjort grund för planering av ytterligare inventeringar och kompletterande fältundersökningar samt för fortsatta utredningar. Förfinade och mer detaljerade modeller har därefter tagits fram successivt tills en tillfredsställande kunskapsnivå uppnåtts. De modellförbättringar som erhållits i de iterativa stegen har delvis kvantifierats genom osäkerhetsanalyser.

Utgående från resultat av efterföljande beräkningar avseende Västlänkens möjliga påverkan, har bland annat influensområdets utbredning

bedömts och riskobjekt inom influensområdet identifierats. I de fall högre detaljeringsgrad krävts (för att minska osäkerheter) har förfinade analyser och beräkningar gjorts.

2.4.2 Hydromodell

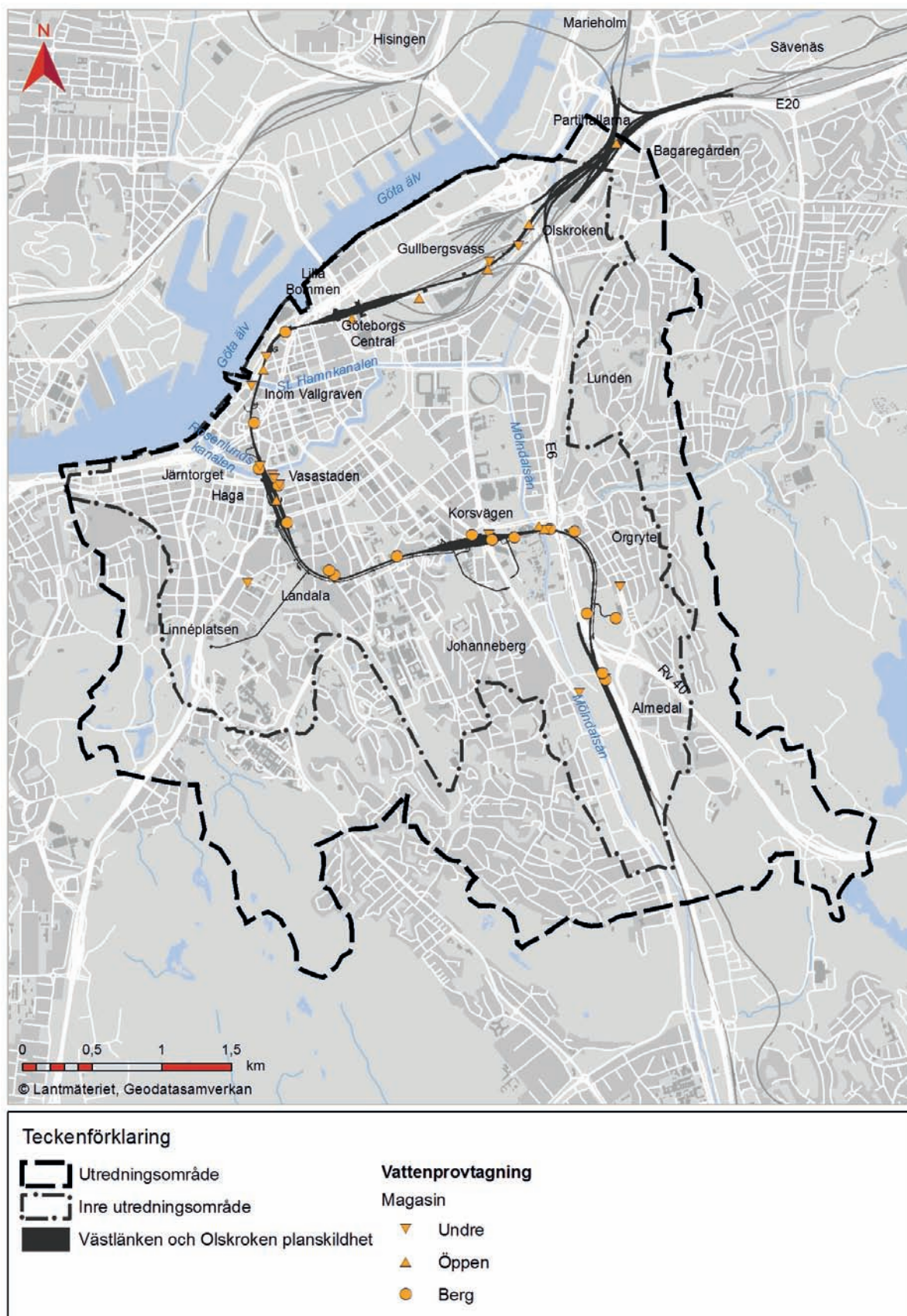
En modell har tagits fram för att utgöra verktyg i arbetet med att skapa konceptuell hydrogeologisk förståelse av jordlagrens grundvattenmagasin inom utredningsområdet. Hydrogeologisk konceptualisering kräver bland annat kunskap om storskalig och lokal grundvattenströmning, förekomst av vattendelare och grundvattenförande jordlager, grundvattenmagasinens utbredning och hydraulisk inbördes kontakt samt utbredning och mäktighet av olika jordlager. Hydromodellen är ett verktyg för att uppnå denna förståelse eftersom den sammanfattar och visualiserar stora mängder data av olika typ och ursprung. Modellen har också använts för att numeriskt uppskatta olika typer av osäkerheter i utförda tolkningar för att bland annat identifiera områden med potentiellt sättningskänslig mark [8].

Modellen omfattar nivåer för bergets överyta, dock inte berggrundens hydrauliska egenskaper och förhållanden, se vidare [8]. Berggrundens geologiska uppbyggnad samt hydrauliska egenskaper redovisas i [4] och i kapitel 3-6.

Modellen består av flera delmodeller som tas fram i en bestämd ordning eftersom de beror av varandras utformning. Hydromodellen byggs upp av följande delmodeller:

1. Topografisk marknivåmodell - topografisk modell över markytan.
2. Bergnivåmodell - probabilistisk modell över bergöverytans nivå.
3. Jordlagermodell - probabilistisk modell över inbördes fördelning av olika jordlager.
4. Grundvattennivåmodell - modell över grundvattnets tryckyta i övre och undre magasin.

Indata utgörs av punktinformation, huvudsakligen från geotekniska sonderingar, och områden med karterat berg i dagen. Eftersom Hydromodellen är en presentation av geologisk data innehåller den av naturliga skäl osäkerheter. Osäkerheter finns delvis i tolkning av sonderingsdata men uppstår framför allt mellan undersökningspunkter där data saknas. Denna osäkerhet blir större ju



FIGUR 2.9 Borrhål för vattenprovtagning i undre och övre magasin i jord samt i berg

glesare det är mellan undersökningspunkterna. De osäkerheter som finns i underlagsdata överförs till modellen och modellen utgör därför ett stor-skaligt verktyg. Modellens prognoser är således översiktliga och används inte för detaljstudier för enskilda fastigheter eller riskobjekt, utan vid sådana frågeställningar används i stället företrädesvis platsspecifik data och prognoser.

I probabilistiska modeller går det att studera osäkerheter mellan datapunkter med geostatistiska metoder, se vidare separat handling [8]. Beroende på vilken grad av säkerhet som önskas kan man studera olika modellresultat, exempelvis genom att producera illustrationer över skattningars (beräknade värden) säkerhet i olika punkter av modellen. Probabilistiska modeller har bland annat använts för att prognostisera riskområden för sättningsbenägen mark genom att prediktera hur grundvattnets trycknivå ligger i relation till lerans underkant i olika områden, kapitel 8.2.

Nedan följer en översiktlig beskrivning av hur delmodellerna tagits fram:

1. Topografisk marknivåmodell

Det topografiska marklagret i modellen baseras på digital topografisk information som har producerats av Lantmäteriet och är inköpt från Metria. Materialet består av ett rutnät med upplösning 2x2 meter (Grid 2+) och bygger på flygburen laser-skanning.

2. Bergnivåmodell

Bergnivåmodellen är en probabilistisk modell av bergöverytans nivå. I underlaget ingår både sonderingar med bekräftat djup till bergytan och sonderingar där bergnivån inte är bekräftad. Osäkerheter i underlagsdata har hanterats genom att utföra interpolationer i flera steg, för detaljer hänvisas till separat handling [10].

Bergnivåmodellen bygger på följande information:

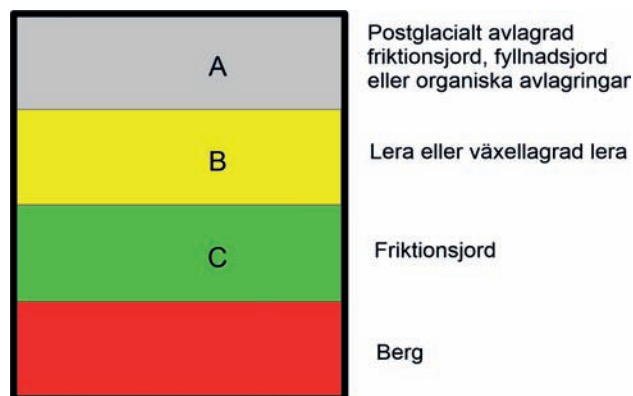
- Kartmaterial: SGU och SBK
- Fältkartering
- Topografisk marknivåmodell från Lantmäteriet för områden med ytligt berg
- Ny och äldre sonderingsdata, för detaljer se kapitel 2.3
- SGUs brunnarsarkiv

Totalt omfattar inventerat källmaterial cirka 15 000 borrhöjningar. Lägen för de geotekniska borrhöjningarna som använts i modellen visas i figur 2.3. Där anges också i vilka borrhöjningar har utförts till konstaterad bergyta.

3. Jordlagermodell

Jordlagermodellen är en probabilistisk modell av nivåer för lerlagrens över- och underkant. Både lerlagrens mäktighet och dess nivåer kan vara kritiska för bedömning av risk för marksättningar. Modellen har använts för att göra en prognos av var det kan finnas sättningsbenägna jordar. Det har således inte varit en målsättning att göra en detaljerad redovisning av de jordarter som förekommer i hela jordprofilen.

Jordlagermodellen är uppbyggd utifrån det principiella antagandet att jordprofilen består av tre lager, figur 2.10. Det är givetvis en avsevärd förenkling då lagerföljden kan vara betydligt mer komplex. Modellens uppbyggnad bedöms dock vara relevant utifrån dess användningsområde och förenklingar har utförts så att de ger konservativa utfall när det gäller lerans mäktighet. Bland annat har observation av sektioner med växellagrad lera i enskilda sonderingar förenklats och representeras i modellen av endast lera från översta till lägsta observerade förekomst.



FIGUR 2.10 Antagen jordlagerföljd A-C i hydromodellen.

Jordlagermodellen bygger på följande information:

- Topografisk marknivåmodell
- Bergnivåmodell
- Sonderingsdata

Sonderingsdata med tolkade jordlager kan användas för jordlagermodellen. Dessa utgör cirka 10 000 av de 15 000 borrhälsdata. De använda borrhälsdata har grupperats i två datamängder; data där lera förekommer och data där lera saknas. Interpolation har utförts med målsättning att förekomsten av lera inte underskattats även där dataunderlag saknats.

4. Grundvattennivåmodell

En modell över grundvattnets tryckyta har tagits fram med syfte att analysera var grundvatten finns och hur grundvatten rör sig i marken (övre och undre grundvattenmagasin i jord, det vill säga i lager A respektive lager C i figur 2.10). Modellen baseras på observationer av grundvattennivåer uppmätta i grundvattenrör och brunnar, och avser årsmedelvärden eller karakteristiska nivåer. Vid brist på underlag har enstaka mätningar från sonderingshål och provgropar använts som komplement.

Med modellen visualiseras lägen för grundvattendelare och storskaliga flödesriktningar. Liksom övriga modelldelar utförs denna modelluppbyggnad iterativt, vilket innebär att grundvattenrör successivt har kompletterats i områden där modellen bedömts ha bristande underlag. När det gäller övre grundvattenmagasin i jord har det endast varit möjligt att tolka grundvattnets tryckyta lokalt (företrädesvis centrala Göteborg) till följd av små och lokala magasin. Detta nät i övre magasin håller på att kompletteras.

Data som använts för att interpolera grundvattennivåer utgörs av en blandning av mätningar utförda inom ramen för aktuellt projekt, från andra pågående kontrollprogram och från äldre grundvattenarkiv. För att skapa en representativ grundvattennivåmodell har hydrogeologisk tolkning utförts. Vid denna tolkning har grundvattendata anpassats till topografiska, geologiska och hydrogeologiska förhållanden inklusive kända dränerande objekt.

2.4.3 Hydrogeologisk konceptualisering

Hydrogeologiska konceptuella modeller har framarbetats för delar av utredningsområdets grundvattenmagasin. De konceptuella modellerna har använts för att analysera, beskriva och visualisera hydrogeologiska förhållanden i grundvattenmagasin i jord och berg. De har även använts för beräkningar och bedömningar av grundvattenpåverkan från den planerade anlägg-

ningen samt för bedömning av behov av kontroll- och skyddsåtgärder.

Den hydrogeologiska konceptualiseringen är resultat av en sammansatt tolkning av ett flertal underlag: kartmaterial och äldre geotekniska och hydrogeologiska undersökningar, resultat från hydrauliska tester, geoteknisk information från enskilda undersökningspunkter med mera. Variationer och osäkerheter i data och tolkningar har analyserats genom ett iterativt och successivt arbete med konceptuella modeller, huvudsakligen genom olika typer av analyser med framtagen Hydromodell. Arbetet har genomgående planerats så att underlag och framtagna modeller ska ha hög tillförlitlighet inom influensområdet, men att större osäkerheter kan accepteras inom områden på betydande avstånd från Västlänken och där känsliga grundvattenberoende objekt saknas.

Analysen som utgjort grund till utförd tolkning:

1. Analys av vattenavrinning
2. Avgränsningar av undre grundvattenmagasin
3. Avgränsningar av övre grundvattenmagasin
4. Urban påverkan och historisk utveckling

Utförda analyser beskrivs i mer detalj i följande text punkt 1 - 4.

1. Analys av vattenavrinning

Vattenavrinning sker på markytan som ytvattenavrinning och i jordlager och berg som grundvattenavrinning. Strömningsmönster styrs i huvudsak av mark- och bergytans topografi, jordlagrens och berggrundens hydrauliska egenskaper samt dränerande undermarksanläggningar.

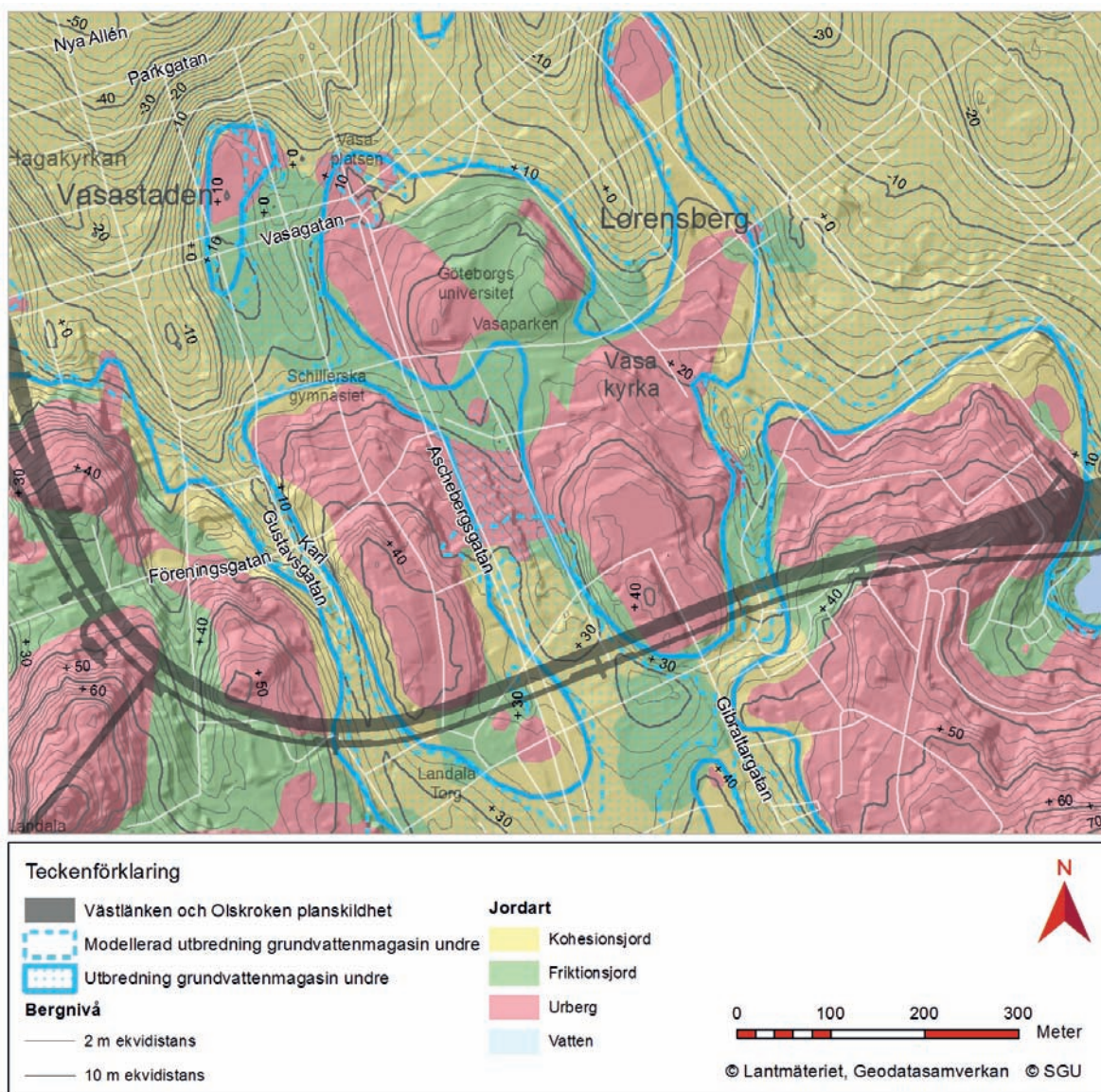
En översiktlig digital avrinningsanalys har gjorts inom utredningsområdet baserat på topografisk marknivåmodell (laserskannat underlag från Lantmäteriet). Från analysen framkommer storskaliga avrinningsområden (ytvattendelare utgör avrinningsområdenas gränser) och stråk med låg topografi där avrinningen bedöms kunna bilda vattendrag. Exempel på sådana stråk är Göta älv, Mölndalsån, Delsjöbäcken och Vallgraven. Även längs Linnégatan framkommer ett sådant stråk, i ett läge längs den numera kulverterade Djupedalsbäcken. Denna analys har utgjort underlag till tolkning av grundvattenmagasin, vattendelare och grundvattenströmning, se vidare kapitel 3.1.

2. Avgränsningar av undre grundvattenmagasin i jord

Inom ramen för den hydrogeologiska konceptualiseringen har de undre grundvattenmagasinen i jord identifierats och avgränsats. Undre grundvattenmagasin förekommer, något förenklat, överallt där bergytans nivå ligger lägre än grundvattennivån i jord. Grundvattennivån är dock inte känd i detalj inom hela området och lokala mindre magasin har sannolikt förbisetts, särskilt inom topografiskt högre liggande områden. Denna osäkerhet beaktas vid olika analyser och kontrollprogram grundvatten.

I arbetet med att avgränsa undre grundvattenmagasin har analys av grundvattennivåer samt geologiska förhållanden utförts. Processen inbegriper förståelse för var grundvatten bildas, vattnets rörelser lokalt, förekomster av zoner i berg, förekomst av lerlager och konduktiva jordar med mera. I de konceptuella modeller som presenteras i detta dokument förekommer två tolkningar av utbredning för undre grundvattenmagasin:

1. Grundvattenmagasinens utbredning utgår från Hydromodellen, där gränser inledningsvis definieras av korsningspunkter



FIGUR 2.11 Grundvattenmagasinens utbredning baserad på Hydromodellens tolkning av förekomst av områden med jordlager under grundvattennivå (blå streckad linje) samt på manuell tolkning av förekomst av vattenförande jordlager vid gräns mot höga bergnivåer (blå heldragen linje).

mellan tolkad grundvattennivå och tolkad nivå för bergets övre yta (bergnivåmodell), vilken motsvaras av streckad linje i figur 2.11 (Modellerad utbredning grundvattenmagasin undre). Eftersom tolkad grundvattennivå huvudsakligen bygger på observationspunkter centralt placerade i dalgångar, tar denna tolkning inte hänsyn till förhöjda grundvattennivåer längs dalsidor. I ett andra analyssteg justeras grundvattenmagasinens utbredning manuellt genom anpassning till bergnivå och jordmåktighet, se figur 2.11 (Utbredning grundvattenmagasin undre).

2. Grundvattenmagasinens utbredning begränsas av hydraulisk gräns/förändring, exempelvis:

- a. där en hög bergnivå skapar en tröskel och där grundvattennivåer styrs av bergytans nivå och inte av jordlagrens totala strömmingsmotstånd och grundvattenflöde,
- b. där en trång passage ger brant gradient (minskat tvärsnitt) samt
- c. där en gravitationsvattendelare förekommer. Vid en gravitationsvattendelare sker avrinning åt två olika håll under ostörda förhållanden. Läget för en sådan vattendelare varierar med tillgången på vatten i marken och kan ändras vid grundvattennivåförändringar i ett eller båda magasinerna.

3. Avgränsningar av övre grundvattenmagasin

Övre grundvattenmagasin finns där vattenförande jordlager förekommer över ett tätt lerlager, till exempel i områden med fyllningsjord eller postglacial friktionsjord. Övre magasin kan även förekomma i områden med torrskorpelera.

Den generella bilden är att dessa övre grundvattenmagasin ofta har begränsad utbredning och ibland bara utgörs av mindre och avgränsade jordfyllda sänkor i berggrunden. De övre magasinerna kan dock vara hydrauliskt kommunikativa över stora områden via ledningsgravar, vägfyllningar etcetera. Avrinning från övre magasin sker vanligtvis till någon typ av ledningssystem eller dike, eller vidare till annat grundvattenmagasin.

Lokalisering av övre grundvattenmagasin har endast utförts i ett fåtal begränsade områden där det finns ett tillräckligt stort antal grundvattenrör som möjliggjort en avgränsning (Inom Vallgraven och Västra Nordstaden). I utredningen

förutsätts att det kan förekomma övre grundvattenmagasin i alla områden med geologiska och hydrogeologiska förutsättningar för sådana.

4. Urban påverkan och historisk utveckling

Grundvattenförhållandena inom utredningsområdet är påverkade av markarbeten, dränerande byggnader och anläggningar samt andra grundvattenpåverkande verksamheter som kan hänföras till områdets urbanisering. Denna påverkan medför bland annat att grundvattenbildningen begränsas av hårdgjorda ytor och av bortledning av dagvatten, att grundvatten dräneras via undermarksanläggningar och dränerande ledningar samt att vatten tillförs via infiltrationsanläggningar och läckande ledningar.

Betydande insatser har gjorts för att finna och beskriva de anläggningar och strukturer vilka har betydelse för områdets hydrogeologi. Befintliga undermarksanläggningars påverkan har beaktats i den utsträckning information finns att tillgå.

Delar av stadsbebyggelsen inom utredningsområdet är anlagda inom tidigare vattenområden. Inom dessa områden förekommer mäktiga lager fyllningsjord av varierande material. Grundvattenmagasinen i dess område står ofta i god hydraulisk kontakt med ytvattnet, vilket betyder att de är mindre känsliga för grundvattenbortledning. Exempel är områdena i anslutning till Göta älv.

2.4.4 Grundvattenbalans

Grundvattenbalanser har upprättats med syfte att utgöra konceptuell grund för hydraulisk förståelse av de huvudsakliga magasinerna. Vattenbalanser har i första hand använts i samband med grundvattenberäkningar och modelleringar för att uppskatta storleksordning på grundvattenflöde i undre magasin i jord och berg. Vattenbalanserna är översiktliga och baseras på ett flertal generella antaganden.

En grundvattenbalansanalys är en sammanställning av grundvattenflöden inom ett eller flera avrinningsområden. Under jämvikt eller i genomsnitt över en längre period, är till- och utflöden lika stora. I utförda vattenbalanser har använts värden på årsmedelflöden.

Grundvattenbildningen till ett magasin är beroende av tillrinningsområdets area samt vilken jordtyp, topografi, grad av bebyggelse etc som dominerar inom magasinet. För beräkningar i denna utredning har marken delats in i typjor

i enlighet med kategorisering framtagna i ”Grundvattenbildning i svenska typjordar” (Rodhe, A., m fl, 2006).

Som underlag för de grundvattenmodelleringar som utförts, har olika typer av markanvändning analyserats varvid nybildningen har bedömts till 100-170 mm/år. Nettonederbörden i området har beräknats till cirka 420 mm/år. Vid beaktande av tillskott från läckande ledningar kan nybildningen lokalt vara betydligt större.

Grundvattenbildningen till berg varierar stort och vid utförda beräkningar har antagits att den inom undersökningsområdet vid ostörda förhållanden understiger 100 mm/år. Under avsänkta och störda förhållanden kan grundvattenbildningen till berg uppgå till 100-200 mm/år eller mer beroende på vattentillgången.

2.5 Nuläge

En nulägesbeskrivning över de geologiska och hydrogeologiska förhållandena har tagits fram för omgivningarna längs anläggningen (kapitel 4 till kapitel 6). I denna beskrivning redovisas för de tre huvudområdena rådande hydrogeologiska förhållanden, liksom den historiska utvecklingen i de fall där detta bedöms ha betydelse för projektet. En översiktlig beskrivning redovisas i kapitel 3.

Nulägesbeskrivningen syftar till att ge en grundlig förståelse för det hydrogeologiska systemet avseende förhållanden i jord och berg samt för den urbana utvecklingens påverkan. Beskrivningen syftar också till att nå förståelse för hur känsligt systemet är i olika områden längs med Västlänken. Nulägesbeskrivningen används för analys av risker och för bedömning av anläggningens påverkan på grundvattenförhållanden.

2.5.1 Beskrivning av jordlager

Göteborgs marktopografi karakteriseras av låglänta och jordtäckta områden längs Göta älv i norr och längs Mölndalsån i öster, medan topografin i söder är kuperad och karakteriseras av höjdområden genomskurna av smala nord-sydligt orienterade jordfyllda dalsänkor. Jordartskarta för utredningsområdet visas i kapitel 3, figur 3.4.

I höjdområden i söder går berget i dagen medan berget är täckt av lera med stor mäktighet i de låglänta områdena kring vattendrag och i dalgångar. Generellt utgörs jordlagren överst av fyllning, vilken vilar på ett relativt mäktigt lager av lera. Under leran finns normalt ett lager med

friktionsjord innan berget tar vid.

Historiskt har omfattande utfyllnader utförts av områden som tidigare utgjordes av sankmarker och grunda vattenområden, till exempel områdena kring Partihallarna och Gullbergsvass. Som fyllnadsmaterial användes framförallt muddermassor från älven samt olika schakt- och rivningsmassor. Under fyllningen följer en naturligt avlagrad lera, vars mäktighet varierar kraftigt.

Under leran följer vanligtvis ett lager friktionsjord med några meters mäktighet som vilar på berget. Närmast områden med berg i dagen tunnar i regel friktionslagret ut. Friktionsjorden består till stora delar av sand men även grövre material som grus, sten och block förekommer.

Jordlagrens hydrauliska egenskaper

I de ytliga fyllningslagren finns ofta möjlighet för ett övre grundvattenmagasin, som avgränsas mot djupet av täta lerlager. Eftersom fyllningsjorden är heterogen, varierar de övre magasinens utbredning, grundvattennivåer och vattenförande förmåga inom vida gränser. Generellt kan antas att de övre magasinerna bildar lokala och hydrauliskt relativt isolerade magasin.

I de under lera förekommande friktionsjordlagren bildas ett undre grundvattenmagasin. Detta magasin har vanligtvis god hydraulisk kontakt med förekommande vattenförande ytberg, på så sätt att det uppkommer ett gemensamt grundvattenmagasin.

Jordlagrens hydrauliska egenskaper har undersökts genom hydraulisk testning i grundvattenrör och brunnar, samt genom insamling av jordprov som möjliggjort analys av jordlagrens vattenförande egenskaper. Utförda hydrauliska tester i borrhål omfattar pulstester, provpumpningar och infiltrationsförsök, se kapitel 2.3.4 och underlagsdokument [4].

2.5.2 Beskrivning av berggrund och svaghetszoner

Berggrundens konduktiva strukturer och hydrauliska egenskaper har tillsammans med tunnelns täthet avgörande betydelse för inläckagets storlek samt hur inflödet fördelas längs tunnelanläggningen. Inläckaget och de hydrogeologiska egenskaperna i jord och berg är i sin tur avgörande för vilken omgivningspåverkan på grundvattenmiljön som Västlänken kan ge upphov till. I kristallint berg sker grundvattenflöde i mer eller mindre öppna vattenförande sprickor och svaghetszoner, medan berget i övrigt kan betraktas som tätt.

Berggrunden är därmed mycket heterogen avseende vattengenomsläpplighet.

Sprickor förekommer med olika frekvens och riktningar beroende på hur tektoniska deformationer har påverkat berggrunden. Sprickor bildas genom flera olika processer under den geologiska utvecklingen, främst genom spröd deformation av berggrunden. Svaghetszoner skapas i samband med större rörelser i berggrunden och karakteriseras av en betydligt högre sprickfrekvens än det omgivande berget, vilket inte med nödvändighet behöver medföra hög vattenförande förmåga.

Nuvarande spänningsfält i berget har tillsammans med sprickfyllnad och sprickmineral betydelse för den hydrauliska sprickvidden och därmed för sprickors och svaghetszoners vattenförande förmåga. Sprickvidd och sprickors inbördes hydrauliska kontakt styr berggrundens och svaghetszoners hydrauliska egenskaper.

De sprödetektoniska rörelserna återspeglas ofta i naturen genom att mindre uppsprucket berg utgör höjdområden, så kallade bergplintar, medan mer uppsprucket berg bildar dalsänkor mellan bergplintarna. Utsträckta sänkor som är tektoniskt betingade, associeras vanligen med svaghetszoner (sprick- och krosszoner).

Förhållandevis hög vattenförande förmåga återfinns vanligen i de ytligaste delarna av berggrunden, ett 10-tal meter under bergytan. Där kan förekomma flackt orienterade tryckavlastningssprickor samt vittrat berg, vilket tillsammans vanligen bidrar till högre vattengenomsläpplighet än i djupare liggande berg.

Bergets hydrauliska heterogeniteter innebär att storlek och fördelning av uppmätta hydrauliska parametrar är skalberoende; exempelvis är genomsnittlig konduktivitet för en bergvolym på 1 m³ inte densamma som för 1 km³. Vid beräkning av inläckaget till tunnelanläggningen har hänsyn tagits till skaleffekten.

Berggrundens hydrauliska egenskaper

Undersökning för bestämning av berggrundens hydrauliska egenskaper har omfattat sammanställning av äldre data samt nya fältförsök. Undersökningarna har syftat dels till att bestämma ett karakteristiskt värde på den hydrauliska konduktiviteten och dels till att bestämma förekommande svaghetszoners transmissivitet. Vid bestämning av karakteristiska konduktivitetensvärden (effektivvärde/bruttovärde) tas hänsyn till observa-

tionsskalan (det vill säga skaleffekten). Detta är nödvändigt för att karakterisera en större volym (tunnelskala) baserad på exempelvis observationer i enskilda brunnar.

För bestämning av lokala förhållanden avseende bergets hydrauliska egenskaper som anses vara av särskild betydelse för tunnelanläggningens omgivningspåverkan, har fältundersökningar i form av hydrauliska tester utförts. Svaghetszoner har identifierats från olika kartunderlag, främst SGUs berggrundskarta och genom analys av äldre tunnelkarteringar. En samlad bild av utredningsområdets svaghetszoner ges i kapitel 3.2.

Utförda hydrauliska tester i borrhål omfattar pulstester, provpumpningar och vattenförlustmätningar, se kapitel 2.3.4 och underlagsdokument [4]. Såväl transienta som stationära förhållanden har utvärderats med allmänt etablerade metoder. Manschetttester har utförts för att avskilja olika delar av borrhål.

Ytterligare ett viktigt underlag för uppskattning av berggrundens hydrauliska egenskaper har varit SGUs brunnsarkiv. Vid inventering av brunnar inom utredningsområdet har identifierats drygt 1300 brunnar. Av dessa brunnar har drygt 780 använts för analys av berggrundens hydrauliska egenskaper och dess variationer.

Berggrundens hydrauliska egenskaper avseende dess vattengenomsläpplighet uttrycks i föreliggande handling av bergets hydrauliska konduktivitet (K). Det effektiva värdet för K har utvärderats statistiskt med metoder som tar hänsyn till bergets heterogenitet.

Vid hydrauliska analyser är det brukligt att beskriva den hydrauliska konduktiviteten med det geometriska medelvärdet (K_g) för att beräkna inläckage till en berganläggning (Gustafson, G., 2009; Vidstrand, P., 1999; Gustafson, G., 1986). Datamängdens spridning definieras av standardavvikelsen och som väntat minskar den med ökad mätskala. Under antagandet att man i stor skala (det vill säga tunnelskala) kan se berget som ett kontinuum med lognormalfördelad hydraulisk konduktivitet är det möjligt att skala upp observationer gjorda i brunnar till att gälla i tunnelskala. Utifrån olika teorier har ekvationer för det sannolika effektivvärdet härletts (Gustafson, G., 2009). Resultat av utförda beräkningar redovisas i kapitel 3 och i underlagsdokument [4].

Identifiering av svaghetszoner

Information om berggrunden kommer framförallt från SGU berggrundskarta och de undersökningar och inventeringar som utförts inom ramen för systemhandlingsuppdragen för Västlänken under perioden 2012-2015. Kompletteringar har utförts inom miljöprövningsskedet för Västlänken under 2015. En betydande mängd information om bergförhållanden, framförallt förekomst av svaghetszoner inom Västlänkens utredningsområde, har insamlats från äldre berganläggningar (projektering och byggande).

Genom en samlad tolkning av källmaterial har en modell tagits fram som visar större svaghetszoner och tektoniska strukturer. Resultatet av denna analys redovisas översiktligt i kapitel 3. Zonerna är sannolikt heterogena i sin form med stora interna variationer vad gäller riktning och karaktär. Dessa svaghetszoner kan ställvis vara smala och väl avgränsade, medan de ställvis kan ha betydande bredd och vara uppdelade i flera mindre system.

Klassificering av berg och svaghetszoner samt grundvattenförhållanden längs tunnelsträckningen redovisas i en analys av utförda undersökningar i berg [4].

Som en del i arbetet med detaljprojektering av Västlänkens bergtunnlar har under hösten 2015 utförts ytterligare ett 10-tal kärnborrhål med tillhörande vattenförlustmätningar. Förutom preliminära uppgifter från borrhningen om förekomst av svaghetszoner ingår ingen information från dessa borrhål i föreliggande redovisning. Resultaten kommer att inarbetas som en senare komplettering.

2.6 Identifiering av riskobjekt

2.6.1 Syfte och metodik

Inventering av grundvattenberoende objekt har utförts inom utredningsområdet. Sådana objekt inom influensområdet som bedöms kunna skadas av en grundvattennivåförändring benämns riskobjekt.

För olika typer av riskobjekt har inventeringsarbetet sett olika ut och arbetsgången för var och en av risktyperna beskrivs nedan. En del av utförda inventeringar redovisas i separata dokument, se lista i kapitel 1.7, för övriga riskobjektstyper hänvisas till MKB.

De olika typerna av riskobjekt är:

- Grundvattenberoende grundläggning [1]
- Grundvattenberoende energianläggningar och brunnar [2]
- Grundvattenberoende naturvärden
- Förorenade områden [3]
- Grundvattenberoende fornlämningar

2.6.2 Grundvattenberoende grundläggning

Riskobjekten avser grundvattenberoende grundläggning för byggnader och anläggningar känsliga för grundvattenpåverkan enligt följande:

- Risk för konsolideringssättningar om grundvattentrycket i undre magasin sänks i mark där sättningsbenägen lera förekommer. Känsliga objekt är grundlagda på sådan mark och kan skadas framför allt om sättningar sker ojämnt inom enskilda objekt (differenssättning).
- Objekt anlagda med trägrundläggning (pålar och/eller rustbäddar) som kan skadas om grundvattennivån i övre magasin sjunker så att trägrundläggningen syresätts, vilket kan påskynda nedbrytningsprocesserna.

Inventeringen av grundläggning inom influensområdet har genomförts i flera steg. En första inventering gjordes under 2012 och 2013 av objekt inom ett avstånd av 150 meter från den planerade Västlänken. Kompletterande grundläggningsinventering utfördes 2014 av objekt på lera inom inre utredningsområde (i lerområden enligt SGUs jordartskarta). Ytterligare inventering av samtliga

större byggnader och anläggningar inom influensområdet pågår. Underlagsmaterial för inventeringen har framförallt varit Göteborgs Stads bygglovsarkiv och Mölndals arkiv. Vidare har region- och stadsarkivet, riksarkivet och krigsarkivet undersökts. För konstbyggnader har även uppgifter i BaTMan och Trafikverkets arkiv Chaos och IDA eftersökts.

Utifrån insamlat underlag har byggnader klassats i två huvudgrupper: (1) Känslig grundläggning för grundvattensänkning i övre magasin och (2) Känslig grundläggning för grundvattensänkning i undre magasin, se tabell 2.1. Byggnader inom influensområden indelas i 12 klasser beroende på grundläggning. I de fall information saknas redovisas detta separat. Metodbeskrivning och resultat i detalj redovisas i separat underlagsdokument [1].

Inventering av fornlämningar inom influensområdet har utförts och redovisas i separat dokument och i MKB. Underlagsmaterial för denna inventering har bland annat varit tidigare utredningar inom projektet, material från Riksantikvarieämbetet och platsbesök inom influensområdet. Se vidare kapitel 2.6.6

2.6.3 Grundvattenberoende energianläggningar och brunnar

Grundvattennivåsänkning i berg kan påverka energianläggningars kapacitet genom minskad möjlighet till energiutbyte.

Inventering av energianläggningar har utförts genom eftersökning i SGUs brunnsarkiv, kommunala register och i enstaka fall genom kontakt med enskilda fastighetsägare. Uthämtad data innefattar i huvudsak anläggningar och brunnar fram till 2015.

SGUs brunnsarkiv innehåller information från borrhprotokoll; främst uppgifter om djup till berg, brunnsdiameter, borrhdjup och bedömd uttagskapacitet. De kommunala registren från Göteborgs stad innehåller information från ansökningshandlingar för borrhstillstånd. Registren innehåller information om brunnars planerade lägen, djup och ibland lutning. Informationen från brunnsarkivet och kommunerna överlappar delvis och är inte alltid samstämmig; framför allt avseende antal brunnar tillhörande en energianläggning.

Nya energianläggningar byggs fortlöpande i området och antalet förväntas öka stadigt. Eftersökningar i register och andra uppföljningar kommer att fortgå under projektets planerings- och anläggningsskeden.

TABELL 2.1 Klassning av grundvattenberoende grundläggningskategori avseende känslighet för grundvattennivåsänkning i övre respektive undre magasin.

Grundläggningskategori	Övre magasin	Undre magasin
Murar och/eller plintar till fast botten	Nej	Nej
Murar och/eller plintar på berg	Nej	Nej
Träpålar med/utan rustbädd	Ja	Ja
Murar och/eller plintar på lera	Nej	Ja
Murar och/eller plintar med rustbädd på lera	Ja	Ja
Rustbädd	Ja	Ja
Platta på mark	Nej	Ja
Kohesionspålar/friktionspålar av betong och/eller stål eller betongpåle med underpåle av trä	Nej	Ja
Spetsbärande pålar av betong och/eller stål	Nej	Nej
Grundförstärkning med stål- eller betongpålar	Nej	Nej
Grundförstärkning genom pågjutning med betong på träpålar	Nej	Ja
Grundförstärkning annan	Eventuellt	Eventuellt
Saknas uppgifter	Ja	Ja

Utöver energibrunnar finns inom utredningsområdet ett mindre antal brunnar där annan användning har registrerats (exempelvis vattenuttag). Vidare finns brunnar där det av registren inte framgår användningsområde. Genom kompletterande inventering kommer dessa oklarheter att utredas.

Inventerade grundvattenberoende energianläggningar och brunnar i berg är sammanställda i underlagsdokument [2].

2.6.4 Grundvattenberoende naturvärden

Inom influensområdet förekommer ett flertal olika typer av särskilt skyddsvärda naturvärden, vilka utgör riskobjekt. Förändringar i grundvattennivån kan i vissa geologiska och hydrogeologiska miljöer minska tillgången på växttillgängligt vatten i rotzonen och därmed försämra livsbetingelserna för grundvattenberoende naturvärden.

Undre grundvattenmagasin i jord bedöms vara de magasin som i första hand riskerar att påverkas från sänkta grundvattennivåer i berg. Dessa undre magasin i jord kan stå i direkt kontakt med växttillgängligt vatten endast där täckande lerlager saknas och där grundvattennivåerna är ytliga. De områden där detta förekommer är framför allt i grundvattenmagasinens randzoner (se figur 2.12

saamt kapitel 2.7.3) vid gräns mot berg- och moränområden. Randzonernas utbredning har beräknats inom influensområdet baserat på information från Hydromodellen. Grundvattenberoende naturvärden kan även förekomma i direkt anslutning till öppna schakt i jord där övre grundvattenmagasin kan påverkas.

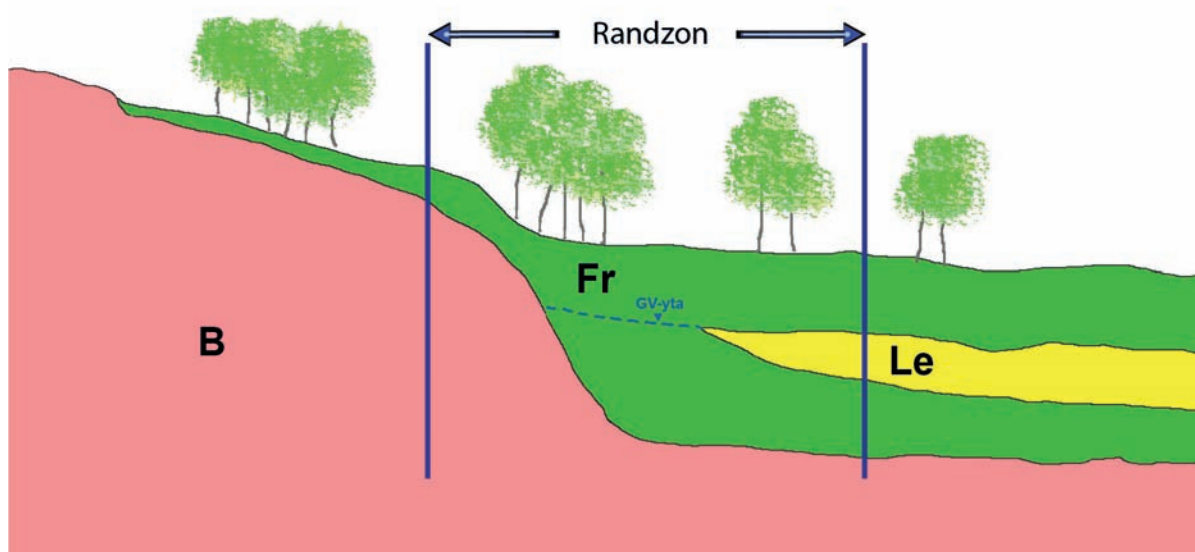
Inventerade naturvärden redovisas i MKB och utgörs av Kulturhistoriska värdefulla parker, Terrestra naturvärden och Rekreativa miljöer.

2.6.5 Förorenade områden

Förändrade grundvattenförhållanden riskerar att förändra strömningsmönster i jord och berg vilket kan leda till ökad mobilisering av föroreningar i grundvatten. Inventering av verksamheter som kan medföra förorenad mark har huvudsakligen utförts inom influensområdet. Nedan följer en översiktlig beskrivning av identifierade riskobjekt. För en detaljerad beskrivning se underlagsdokument [3].

Inventering har utförts hos en rad myndigheter och organisationer:

- Göteborgs Stads verksamhetsregister över miljöfarlig verksamhet
- Länsstyrelsens verksamhetsregister, Miljöreda



FIGUR 2.12 Randzon där växtlighet kan stå i direkt kontakt med grundvatten i undre magasin. B= berg, Fr= friktionsjord och Le= lera. Blå streckad linje visar grundvattennivån i undre magasin i jord. Randzonens position visas i figuren.

- Tillståndspliktig miljöfarlig verksamhet (Länsstyrelsen Västra Götaland)
- Mölndals stad verksamhetsregister över miljöfarliga verksamheter
- Länsstyrelsens EBH-register
- Objekt identifierade i projektets tidigare skede

I underlagsdokument [3] har en utvärdering av verksamheterna utförts med avseende på verksamhetstyp, omfattning, föroreningarnas farlighet och dess mobilitet i vattenfas. Verksamheter som har hanterat särskilt farliga ämnen i betydande omfattning och/eller där en myndighet gjort bedömningen att det föreligger stor risk vid föroreningsspridning, har klassificerats som objekt med förhöjd risk vid spridning. Verksamheter där en dokumenterad efterbehandling utförts eller där verksamheterna helt försvunnit på grund av byggnation har utgått.

I slutbedömningen av risk har en hydrogeologisk bedömning av de riskklassade objekten gjorts utifrån kännedom om geologi och hydrogeologi vid de enskilda verksamheterna. Områden där det har bedömts finnas risk för effekter som skulle kunna ge upphov till skadliga konsekvenser är lokaliserade till randzonen vid övergången mellan lerområde och berg.

2.6.6 Grundvattenberoende fornlämningar

Sänkta grundvattennivåer i övre magasin kan medföra att organiskt material utsätts för syre vilket kan påskynda den naturliga nedbrytningen. Det förekommer ett begränsat antal identifierade fornlämningar inom det inre utredningsområdet, där dock hela området inom Vallgraven och delar av angränsande ytor utgör en enhetlig fornlämning.

Det råder förhållandevis stor osäkerhet när det gäller detaljer om förekomst och karaktär av fornlämningar inom det inre utredningsområdet. Det har därför i föreliggande PM antagits att det förekommer skyddsvärda lämningar inom samtliga fornlämningar som identifierats.

Ett flertal naturliga och av människan skapade processer har inneburit att fornlämningar som tidigare låg under grundvattenytan idag ligger över densamma. Exempel på detta är landhöjning och byggande i mark, där anläggande av ledningar och ledningsgravar är det som till övervägande

del skapat sänkta grundvattennivåer i mark. Det kan förutsättas att stora arealer med fornlämningar helt eller delvis ligger över grundvattenytan i övre magasin.

I de fall uppgifter om fornlämningens överyta saknas har antagits att den ligger i nivå med lerans överkant, det vill säga utfyllnadslagrens underkant.

2.7 Analyser

En rad analyser har utförts för att identifiera riskobjekt inom influensområdet som kan vara särskilt utsatta vid en grundvattennivåförändring. Flera av dessa analyser har utförts genom att använda framtagen Hydromodell, där följande urvalskriterier har använts:

- Grundvattenberoende grundläggning undre grundvattenmagasin: Förekomst av områden med sättningsbenägen lera, där lera under grundvattennivån bedöms vara sättningsbenägen.
- Grundvattenberoende naturvärden: Områden där grundvattennivåsänkning i undre magasin kan ge upphov till grundvattennivåsänkning i övre magasin och därmed en minskning av växttillgängligt vatten i rotzon. Känsliga områden är främst randzoner vid gräns mellan lerområden och höga bergnivåer, se definition i kapitel 2.7.3. Känsliga områden kan även finnas i direkt anslutning till öppna schakt.
- Förorenad områden: Områden där grundvattennivåsänkning i undre magasin kan ge upphov till grundvattennivåsänkning i övre magasin och därmed mobilisering av förorening eller ändrad strömningsriktning av förorenat vatten. Känsliga områden är randzoner vid gräns mellan lerområden och höga bergnivåer, se definition i kapitel 2.7.3. Förekommande föroreningar inom schakt omhändertas inom ramen för entreprenaderna.
- Grundvattenberoende fornlämningar: Område där grundvattensänkning i övre magasin kan ge upphov till skadliga effekter på organiskt material.

I följande kapitel 2.7.1 - 2.7.3 utvecklas detta analysarbete och underliggande processer. I kapitel

2.7.4 behandlas analys av påverkan från befintliga grundvattenpåverkande anläggningar.

2.7.1 Lokalisering av sättningsbenägna lerområden

Marksättning till följd av grundvattensänkning kan uppstå i lera i de fall lera är sättningsbenägen. Endast lera som ligger under grundvattnets trycknivå (i undre grundvattenmagasin i jord) bedöms som sättningsbenägen till följd av grundvattensänkning. Inom utredningsområdet pågår marksättningar till följd av tidigare grundvattenpåverkan, uppfyllningar och nedbrytning av organiskt material.

Förekomst och mäktighet av sättningsbenägen lera har analyserats med hjälp av Hydromodellen. Analysen ger en bild av de områden som bedöms ha lerbeförekomster under grundvattenytan, det vill säga där en grundvattennivåsänkning kan ge portrycksminskning och efterföljande konsolideringssättningar. Hydromodellen används för att studera sättningsbenägna områdens utbredning beroende på vilken grad av säkerhet som eftersträvas vid riskanalysen.

En alternativ analys av förekomst av sättningsbenägen lera har gjorts utgående från geologiska kartor som visar förekomst av lera; den byggnadsgeologiska kartan för Göteborgs stad, SGUs kvartergeologiska karta samt en kompletterande hydrogeologisk fältkartering inom delar av utredningsområdet.

Utgående från dessa underlag har en sammanvägd analys gjorts för att identifiera sättningsbenägna områden och risken för negativa effekter på grundvattenberoende grundläggning. Fördelen med att ha flera underlag i detta fall är att de kan jämföras inbördes och möjliggöra rimliga avvägningar och riskbedömningar. Områden som bedömts som potentiellt sättningskänsliga har sammanställts och redovisas i kapitel 8.

Detaljerade sättningsberäkningar har utförts i undersökningspunkter utgående från platsspecifika uppgifter om jordprofil och lerans kompressionsegenskaper, vilket redovisas i underlagsdokument [7]. Beräkningar har gjorts för olika antagna grundvattensänkningar för olika tider. I föreliggande PM redovisas var det förekommer grundvattenberoende grundläggning inom sättningsbenägna områden (se kapitel 8.2).

2.7.2 Lokalisering av trägrund och kulturlager över grundvattenyta

Trägrundläggning och övrigt organiskt material förekommer lokalt inom influensområdet, exempelvis träpålar och trärustbädd som grundläggning av befintliga byggnader och anläggningar, rester av trägrundläggning av tidigare befästningsverk (stenmurar i huvudsak nedmonterade i början av 1800-talet) samt olika typer av kulturlager (inom stora delar av centrala Göteborg). Det organiska materialet är känsligt för kontakt med syre vilket medför nedbrytning genom rötningsprocesser. Av betydelse för dessa processer är om det organiska materialet är täckt av vatten eller inte, det vill säga vattenytan i övre grundvattenmagasin i jord.

Befintlig bebyggelse och i hög grad olika typer av ledningar, har tillsammans med landhöjning medfört sänkta vattennivåer i övre grundvattenmagasin i jord. Det kan förutsättas att vattenytan i övre grundvattenmagasin lokalt är avsänkt och att olika trägrundläggningar och organiskt material är exponerat för syre. Eftersom de övre jordlagren (fyllningsjord) är heterogent uppbyggda, där övre grundvatten ofta förekommer i till utbredningen begränsade magasin, utgör övre grundvattenmagasin snarare ett stort antal lokala magasin än ett heltäckande kommunikativt grundvattenmagasin.

Inom delar av influensområdet finns ett omfattande nät av observationspunkter i övre grundvattenmagasin, företrädesvis centralt i anslutning till Götatunneln (inom Vallgraven). Här har det inom delar av området varit möjligt skapa en tolkad vattenyta i övre grundvattenmagasin. Komplettering av observationsnätet med grundvattenrör i övre grundvattenmagasin pågår.

En analys av grundvattennivåer i övre magasin och grundvattenberoende fornlämningar inom Vallgraven återfinns i kapitel 8.6.

2.7.3 Lokalisering av randzoner

Utbredning av randzoner har använts för att identifiera grundvattenberoende naturvärden och förorenade områden som eventuellt kan påverkas av en grundvattennivåförändring. Randzoner förekommer längs övergången mellan lerområden och områden med höga bergnivåer (berg i dagen eller områden med tunna jordar på berg), se figur 2.12. Inom randzoner antas att grundvattennivåpåverkan i undre magasin i jord kan ge upphov till hydrauliska förändringar i ytliga marklager.

Utbredning av randzoner har använts vid analys av effekter när det gäller risker för grundvattenberoende naturvärden och förorenad områden.

2.7.4 Analys av tidigare och pågående grundvattenpåverkan

Analys av tidigare och pågående grundvattenpåverkan har genomförts. Exempel är från olika typer av ledningstunnlar, Chalmerstunneln, Göta-tunneln, Gårdatunneln med Lisebergs station, djupa grundläggningar, grundvattenpumpningar, dräneringar och infiltrationsanläggningar. Påverkan från hemliga och sekretessbelagda tunnlar har även inarbetats i genomförda analyser, vilket dock inte redogörs för i text och bild.

Uppgifter från befintliga vattendomar och miljödömande har inarbetats i analyser av rådande förhållanden. Vidare har hänsyn tagits till dessa domar vid analys av effekter samt vid framtagande av förslag till kontrollprogram och planerade skyddsåtgärder. Observationer av tidigare och pågående påverkan redovisas översiktligt i kapitel 4 till kapitel 6.

2.8 Beräkningar och prognoser

För att bedöma Västlänkens påverkan på grundvattenförhållandena har olika beräkningar utförts med följande inriktning:

- Inläckage av grundvatten till anläggningen (samt behov av tätningsinsatser och skydds-infiltration).
- Område inom vilket grundvattennivåpåverkan kan uppkomma.
- Grundvattennivåsänkning i jord och berg.

Beräkningarna bygger på hydrogeologiska konceptualiseringar, alltså förenklade modeller av de hydrogeologiska förhållandena i anläggningens omgivningar. De konceptuella modellerna baseras i sin tur på analyser utförda enligt kapitel 2.4.

Västlänken kommer att byggas i vitt skilda hydrogeologiska miljöer, från täta till permeabla jordar och berg. Olika miljöer kräver olika beräkningsmodeller, vilka måste anpassas till dataunderlagets omfattning och kvalitet. Såväl analytiska som numeriska modeller har använts. Osäkerheter i data samt variationer i parametrars fördelning har studerats genom stokastisk modellering.

Vid val av beräkningsstrategi och vid analys av

beräkningsresultat har utgått från att det inte finns modeller som ger ”korrekta” resultat. Det fundamentala konceptet när det gäller beräkningsstrategin är att beräkningarna ska vara robusta, det vill säga att det ska finnas stöd för att resultaten ger rimliga approximationer. För att uppnå denna målsättning har flera oberoende modeller och beräkningsverktyg använts. Om dessa var för sig ger likvärdiga resultat finns skäl att anta att resultaten är representativa för de problemställningar som avses.

2.8.1 Inläckage

Vid beräkning av inläckage till Västlänken är anläggningens djup under mark- och grundvattenytan, dimensioner och täthet styrande anläggningsrelaterade faktorer. Medan djup och dimensioner i princip är låsta utifrån anläggningens funktion, byggmetoder och anpassningar till andra anläggningar, är tätheten en parameter som beror på jordlagrens och berggrundens hydrauliska egenskaper samt valda täthetskrav. Utöver de anläggningsrelaterade faktorerna har berggrundens och jordlagrens hydrogeologiska egenskaper och tillgången på grundvatten stor betydelse för inläckagets storlek och fördelning i tid och rum. Beräkningar görs med metoder och parameterdata som ger konservativa resultat samt tar hänsyn till osäkerheter på så sätt att faktiskt inläckage med stor sannolikhet blir lägre än vad som framräknats.

Berggrundens och jordlagrens hydrauliska egenskaper har utretts genom sammanställning av inläckage till äldre tunnlar samt genom analys av data från ett mycket stort antal undersökningspunkter.

När det gäller beräkning av inläckage till Västlänkens anläggningsdelar i berg har de hydrauliska egenskaperna varierats i syfte att studera inläckagets variation beroende på bergförhållanden. Genom att använda stokastisk modellering har variationer i berggrundens hydrauliska egenskaper och tunneltäthet analyserats systematiskt.

För schakter i jord har inläckaget inte specifikt beräknats, utan istället har avsänkningen varierats för att därigenom studera vilken påverkan som skall kunna uppkomma. Som underlag för bedömning av grundvattensänkningar i undre magasin i jord har propumpningar utförts.

En parameter som är svår att bestämma kvantitativt är tillgången på grundvatten i berg och jord och hur tillgången förändras till följd av att

anläggningen byggs. De modeller som bäst lämpar sig för denna typ av analyser är numeriska modeller vilka hanterar hydrauliska kopplingar mellan grundvattennivåsänkning och ökad grundvattenbildning (vattenomsättning) till jord och berg.

Även skyddsinfiltration kan ge upphov till ökad grundvattenbildning. Behovet att beakta skyddsinfiltration vid bedömning av inläckaget är uppenbar, eftersom infiltration påverkar vattenbalansen och lokalt kan ge höjda grundvattennivåer. Den del av det totala inläckaget i Västlänken som utgörs av infiltrationsvatten bedöms inte ha någon uppenbar skadlig grundvattenpåverkande effekt. I föreliggande PM betraktas infiltrationsvatten som läcker in i anläggningen som grundvatten.

Beräkningsmodeller

Följande modelltyper har använts:

Stokastisk modellering har använts för att studera hur inläckaget till bergtunnlar varierar beroende av tunneltäthet och bergets hydrauliska egenskaper. Beräkningsresultatet har använts för bedömning av inläckage i olika bergtunnelavsnitt för olika grad av konservatism.

Numeriska modeller har använts för komplexa geometrier för att studera inläckage beroende på lokala hydrogeologiska förhållanden. Modellerna har bland annat använts för att studera omgivningspåverkan vid varierande anläggningstäthet.

För att få kvantitativa mått på inläckage och grundvattennivåförändringar har följande modelleringar utförts:

- Numerisk 3-dimensionell grundvattenmodell för Station Haga med omgivning.
- Numerisk 3-dimensionell grundvattenmodell för Station Korsvägen med omgivning.
- Numerisk 3-dimensionell grundvattenmodell för schakten vid Almedal med omgivning.
- Numerisk tvärsnitts-/grundvattenmodell för dalsänkan längs Gibraltargatan ner mot Vallgraven
- Stokastisk-analytisk modellering av inläckage i bergtunnel.

Beräkningar redovisas i underlagsdokument [9]. Baserat på beräkningsresultat, platsspecifika hydrogeologiska förhållanden och egenskaper samt erfarenheter från andra liknande anlägg-

ningar, görs bedömning av troligt inläckage. Hänsyn tas även till anläggningens komplexitet. Bedömt inläckage redovisas i kapitel 7.

2.8.2 Influensområde

Influensområdets utbredning är väl tilltaget så att ingen förändring av grundvattennivån uppkommer utanför området vid något skede eller tidpunkt. För att uppnå denna målsättning har rimligt konservativa tillvägagångssätt använts.

För de beräkningar som gjort i PM Hydrogeologi har antagits att influensområdet definieras av en teoretisk avsänkning på 0,3 meter i jord och 1,0 meter i berg (på anläggningsnivå). Med de konservativa modellresultat som erhålls säkerställs därmed att ingen grundvattenpåverkan uppkommer utanför angivet influensområde.

Det är en rad faktorer som har betydelse för influensområdets utbredning, såsom exempelvis:

- Inläckage i anläggningen
- Vattenbalans i området
- Berggrundens och jordlagrens hydrauliska egenskaper
- Hydrauliska ränder
- Topografi och anläggningens djup under grundvattenyta

Den sammanvägda bedömningen av influensområdets utbredning baseras på beräkningar och erfarenheter från tidigare projekt. I princip har nedanstående fem angreppssätt använts:

1. Hydrauliska ränder har antagits begränsa influensområdets utbredning, till exempel positiva hydrauliska gränser såsom Göta älvs dalgång och negativa hydrauliska ränder vid magasinsgränser.

2. Befintliga tunnlar kan i vissa lägen antas begränsa influensområdets utbredning.

3. Erfarenheter av influensområdets utbredning finns från ett flertal tunnlar i liknande hydrogeologiska förutsättningar som för Västlänken, exempelvis Götatunneln och Chalmerstunneln. Anpassning har gjorts till tunnelanläggningens förhållandevis djupa profilläge.

4. Vattenbalansmetoden bygger på flödesbalans mellan inläckage och grundvattenbildning inom ett influensområde. Metoden

bygger på principen att inläckaget till en undermarksanläggning efter lång tid motsvaras av grundvattenbildningen inom aktuellt influensområde. Används ett konservativt lågt värde på grundvattenbildningen överskattas sannolikt influensområdets storlek. Det motsatta gäller om man överskattar grundvattenbildningen. Vid värdering av influensområdets utbredning har hänsyn tagits till lokala förutsättningar såsom topografi, förekomst av vattenförande svaghetszoner med mera.

5. Numerisk grundvattenmodellering har använts i områden med komplexa geometrier. Vid dessa modelleringar har stor vikt lagts på att anpassa till vattenbalanser, hydrauliska gränser, grundvattennivåer och de hydrogeologiska systemens funktioner (till exempel flödesmönster).

I tillägg till dessa teoretiska analyser har data från provpumpningar utgjort underlag.

2.8.3 Beräkning av grundvattennivåsänkning

Beräkningar av grundvattennivåsänkningar har utförts lokalt inom influensområdet för att analysera påverkan och effekter vid grundvattenberoende objekt. Beräkningar har utförts med olika modeller anpassade till olika hydrogeologiska miljöer samt olika beräkningsmål.

Följande modellberäkningar har utförts:

- Numeriska tre-dimensionella grundvattenmodeller för Station Haga, Station Korsvägen och schakt vid Almedal med angränsande anläggningsdelar. Syftet med modellerna är att studera grundvattennivåpåverkan i jord och berg för olika tätheter och dränerande nivåer.
- Numerisk tvärsnitts-/grundvattenmodell längs Gibraltargatan. Syftet med modellen är att för olika tunneltätheter studera inläckage i bergtunnel, grundvattennivåpåverkan i berg samt anläggningens påverkan på grundvattenbildning och grundvattenflöden. Modellområdet är valt så att resultatet kan användas för olika bergtunnelavsnitt.
- Stokastisk - analytisk modellering av inläckage för olika bergtunnelavsnitt tillsammans med vattenbalansanalys.

I kapitel 7 redovisas översiktligt resultaten av utförda beräkningar. För detaljer hänvisas till underlagsdokument [9].

2.8.4 Bedömt behov av skyddsåtgärder

Skyddsinfiltration är en planerad metod för att begränsa grundvattennivåsänkning och därmed risken för att skadliga effekter ska uppstå vid olika riskobjekt, se vidare kapitel 9. Behovet av skyddsinfiltration, både avseende vilka områden som är aktuella samt vilka infiltrationsflöden som är nödvändiga, bygger på en rad hydrauliska förhållanden samt grundvattenberoende objekts känslighet.

De största infiltrationsinsatserna planeras att genomföras i områden med sättningsbenägen lera och i områden där grundvattenberoende grundläggningar förekommer. Skyddsinfiltration kan även bli aktuell vid andra typer av riskobjekt.

Baserat på jordlagrens och berggrundens vattenförande egenskaper bedöms möjligheterna till skyddsinfiltration som generellt god. Det finns ett flertal infiltrationsanläggningar som visar att det med ökad grundvattenmängd går att höja grundvattennivåerna så att risken för grundvattennivåberoende skador undviks eller kraftigt reduceras. Ytterligare arbeten kommer att göras för att säkerställa tillräcklig infiltrationskapacitet.

För grundvattenberoende naturvärden där det växttillgängliga vattnet i rotzon kan påverkas är bevattning lämplig skyddsåtgärd.